



Année Universitaire : 2014-2015



Licence Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Etude de protection contre les inondations du Centre Rghioua  
(Province de Taounate)**

**Présenté par:**

**Badr-eddine KIFANE  
Oussama EL-FADLI**

**Encadré par:**

*Pr. EL GAROUANI Abdelkader, FST-Fès  
Mr. BOURAK Abdellah, ABHS- Fès*

**Soutenu Le 16 Juin 2015 devant le jury composé de:**

- |                              |           |
|------------------------------|-----------|
| - Pr. JABRANE Raouf          | FST-Fès   |
| - Pr. RAIS Naoual            | FST-Fès   |
| - Pr. EL GAROUANI Abdelkader | FST-Fès   |
| - Mr. BOURAK Abdellah        | ABHS- Fès |

Stage effectué à : Agence du bassin hydraulique du Sebou





# SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| Remerciement.....                                      | 4  |
| Chapitre I. Contexte de l'étude.....                   | 5  |
| ❖ Introduction générale.....                           | 6  |
| 1. Les inondations au Maroc.....                       | 6  |
| 1.1. Un risque naturel majeur : les inondations.....   | 6  |
| 1.2. Problématique des inondations au Maroc.....       | 6  |
| 1.3. Problématique de la zone d'étude .....            | 6  |
| 2. La région Rghioua :.....                            | 7  |
| 2.1. Contexte général :.....                           | 8  |
| 2.1.1. Cadre naturel.....                              | 8  |
| 2.1.2. Milieu physique : .....                         | 9  |
| i. Aspect climatique.....                              | 9  |
| ii. Aspect géologique.....                             | 10 |
| Chapitre II. Étude hydrologique.....                   | 11 |
| 1. Introduction.....                                   | 13 |
| 2. Délimitation des Bassins Versants.....              | 14 |
| 3. la méthodologie adoptée pour l'étude des crues..... | 16 |
| 3.1. le temps de concentration.....                    | 16 |
| 3.1.1. Formule de Giondotti.....                       | 16 |
| 3.1.2. Formule de Kirplich.....                        | 16 |
| 3.1.3. Formule de Turazza.....                         | 16 |
| 3.1.4. Formule de Passini.....                         | 17 |
| 3.2. Formules Empiriques.....                          | 18 |
| 3.3.1. Formule de hazan et Lazarevic.....              | 18 |
| 3.3.2. Formule de Mallet-Gauthier.....                 | 18 |
| 3.3.3. Formule de Fuller II.....                       | 19 |
| 3.3. Méthode rationnelle .....                         | 19 |
| 4. Résultats.....                                      | 21 |



---

|   |    |
|---|----|
| <i>Chapitre III. Etude Hydraulique</i> .....                      | 22 |
| 1. Introduction.....  | 23 |
| 2. Présentation des modèles .....                                 | 23 |
| 2.1. Présentation du logiciel ArcGIS.....                         | 23 |
| 2.1.1. Méthodologie du travail.....                               | 23 |
| ➤ Délimitation de la zone d'étude et des 4 sous bassins.....      | 25 |
| ➤ Création d'un TIN.....  | 25 |
| ➤ Résultats.....  | 25 |
| 2.2. Présentation du HEC-RAS.....                                 | 26 |
| 2.2.1. Tutoriel d'utilisation du HEC-GeoRAS avec ArcGIS 10.1..... | 27 |
| 2.2.2. Etape de modélisation.....                                 | 29 |
| 3. Simulation du passage de crue dans la situation actuelle ..... | 29 |
| 3.1. Coefficients de rugosité de Manning n.....                   | 30 |
| 3.2. Conditions limites.....                                      | 31 |
| 4. Restitution de courbe de tarage.....                           | 32 |
| ➤ Résultats de la simulation.....                                 | 33 |
| ❖ Conclusion.....   | 33 |
| ❖ Bibliographie.....  | 34 |



Liste de figure

Fig1 : Carte de situation géographique de la commune .....8  
 Fig2 : Présentation mensuelle de la pluie annuelle moyennes à la station de Ain Aicha .....9  
 Fig3 : Carte de sous bassins de la zone Rghioua.....14  
 Fig4 : Carte de délimitation de la zone d'étude.....24  
 Fig5 : Restitution de la zone sur ArcGIS .....25  
 Fig6 : Courbe de niveau sur Autocad.....27  
 Fig7 : Carte des 4 couches (Rivers, Banks, Flowpath et XScut lines ).....28  
 Fig 8 : Courbe de Tarage obtenu à partir de Hec-RAS de chaaba 2.....32  
 Fig 9 : Profil en long de la figure d'eau de chaaba 2 .....33

Liste des tableaux

Tab 1 : Méthode de déterminer les débits de pointe.....13  
 Tab 2 : Caractéristiques de bassins versants.....15  
 Tab 3 : Résultats du temps de concentrations.....17  
 Tab 4 : Résultats des débits pour bassin versant 1.....20  
 Tab 5 : Résultats des débits pour bassin versant 2.....20  
 Tab 6 : Résultats des débits pour bassin versant 3.....21  
 Tab 7 : Résultats des débits pour bassin versant 4.....21  
 Tab 8 : Tableau des valeurs du coefficient n de Manning.....30

Liste des annexes

|            |   |
|------------|---|
| Annexe I   | Courbe de tarage obtenu à partir de HEC-RAS             |
| Annexe II  | Profil en long de la ligne d'eau                        |
| Annexe III | Profil en travers d'une section des bassins versants    |
| Annexe IV  | Profil en travers d'une vue 3D des des bassins versants |
| Annexe V   | Délimitation des zones inondables                       |



# Remerciements

Ce travail est le résultat de notre stage effectué à l'Agence Hydraulique du Bassin du Sebou. C'est un fruit de nos propres efforts combinés à ceux des différentes personnes qui m'ont beaucoup aidés et suivies tout au long de notre stage, ça serait l'ingratitude de notre part, si on reste silencieux sans remercier tous ceux qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements s'adressent particulièrement:

En premier lieu nous remercions Monsieur Bourak Abdellah notre encadrant à l'ABHS, aussi que toute l'équipe d'ingénieurs (Mr. Squalli et Mlle. Zguetti) pour leur disponibilité, leur générosité, leur encouragement et leur soutien. C'est avec un grand plaisir qu'on a effectué ce stage sous leur direction.

Monsieur EL Garouani Abdelkader mon professeur encadrant à la FST pour leurs conseils judicieux et surtout leurs soutiens permanents tout au long de la période de stage.

Nous remercions également les membres de jury : Mme Rais et Mr. Jabrane.

Mr. Midaoui Abdelbasset, doctorant au sein de la FST, qui n'a pas cessé de nous prodiguer ses conseils et qui n'a épargné aucun effort pour contribuer à la réussite de notre travail.

Enfin, on tient à remercier du fond de notre cœur toute personne qui, de près ou de loin nous a aidés dans l'accomplissement de notre stage.



Chapitre I :

Contexte générale



# Introduction générale

Les inondations représentent un risque naturel qui peut causer des pertes en vies humaines, des dégâts matériels et la dégradation de l'environnement. A l'échelle du bassin méditerranéen, ce risque vient en deuxième rang derrière le risque sismique, mais il occupe en revanche le premier rang sur le plan de fréquences d'occurrences.

La modélisation mathématique est un outil scientifique parmi d'autres, qui est de plus adopté pour simuler et comprendre les phénomènes hydrologiques et hydrauliques. En outre, les systèmes d'information géographique sont désormais indispensables à la bonne gestion dans ce domaine comme dans d'autres.

## 1. Les inondations au Maroc

*« ...Source de vie, l'eau est plus que jamais menacée de rareté car, au fil du temps, les besoins ne cessent de s'accroître. De plus, cette ressource est soumise aux bouleversements de l'écosystème qui provoquent des inondations dévastatrices, engendrent des sécheresses et aggravent la désertification.... »*

Extrait du Discours de SA MAJESTE LE ROI MOHAMMED VI au 22<sup>ème</sup> Sommet des Chefs d'Etat d'Afrique et de France (Le 20 février 2003 à Paris).

### 1.1. Un risque naturel majeur : Les inondations

Un risque naturel résulte de la conjonction d'un aléa et d'un enjeu. L'aléa peut être défini comme étant un événement d'origine naturelle potentiellement destructeur. Quant à l'enjeu, il représente les éléments qui sont exposés à cet aléa, comme par exemple des personnes, des infrastructures, l'environnement, etc... [Bastian, 2011]

On parle de risque d'inondation si l'homme et ses biens sont exposés aux submersions. Ainsi, le risque d'inondation est élevé lorsque l'occupation du sol en zone inondable n'est pas adaptée aux submersions, les dommages potentiels y sont alors élevés.



---

## 1.2. Problématique des inondations au Maroc

Le Maroc est un pays semi-aride, cela n'empêche qu'il subit de temps à autre les grands méfaits des inondations, en effet l'aridité favorise l'apparition de crues violentes car l'absence de couverture végétale soutient le ruissellement aux dépens de l'infiltration. Le phénomène des crues et des inondations va en s'amplifiant à cause du développement démographique, urbain et industriel. On construit de plus en plus dans des zones inondables et avec les effets du changement climatique nous avons ce que l'on appelle le fait des extrêmes : on passe par des périodes marquées à la fois par la sécheresse et les inondations. [Zahour et al., 2009]

Au Maroc, les catastrophes les plus fréquentes et les plus meurtrières résident dans la récurrence terrible des inondations. Parmi les inondations les plus dramatiques qu'a connus le Maroc, on peut citer par exemple :

- L'inondation de l'Oued Ourika de 1995. Bilan : 240 morts et beaucoup de dégâts matériels ;
- Les crues de l'Oued Maleh en 1996, 2001 et 2002 ayant provoqué des inondations de la ville de Mohammedia. Bilan : Beaucoup de dégâts matériels;
- Les inondations du nord du Maroc en octobre 2008 (Tanger, Tétouan, Fnidek, et d'autres villes encore). Bilan : 28 morts, effondrement de 200 maisons anciennes et deux ponts dans la province de Nador, et d'énormes dégâts matériels provoqués par l'invasion des eaux qui ont submergé plusieurs habitats, établissements publiques et locaux commerciaux, ainsi que les deux zones industrielles à Tanger ;
- Les crues de l'Oued Sebou en 2009 et 2010 qui ont été à l'origine de la dégradation de près de 140 000 ha de terrains agricoles, principalement des cultures de céréales et de légumineuses ;
- Les crues de l'Oued Beht de la fin de janvier-début février 2009, et qui ont provoqué des inondations au niveau de la plaine du Gharb touchant les provinces de Sidi Slimane, de Sidi Kacem et de Sidi Yahia. Bilan: Presque 3000hec des terrains de la région du Gharb ont été inondés, 2700 maisons détruites, des milliers de personnes sans-abris dans les provinces de Sidi Slimane et de Sidi Kacem, et des dizaines de morts ;



- Les inondations de plusieurs régions au Maroc en Novembre 2010. Bilan : 35 morts et beaucoup de dégâts matériels. On y retrouve, les crues de l'Oued Bouskoura, qui ont provoqué la submersion d'une grande partie de Casablanca

Certes, il n'est pas possible de contenir, à court terme, les causes des changements climatiques, mais l'élaboration d'une stratégie d'adaptation reste possible pour réduire la vulnérabilité de tout aléa hydrométéorologique. La mise en place d'une stratégie de prévention contre les risques d'inondation au Maroc, nécessitera, suite aux expériences terribles vécues, la prise des mesures avant, au moment et après la catastrophe. [Zahour et al., 2009]

Parmi les mesures entreprises, on trouve, la nécessité de réaliser des infrastructures pour la prévention et la lutte contre les inondations par les agences des bassins hydrauliques qui sont des établissements publics dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

Aussi, et suite aux résultats de l'étude du plan directeur de protection contre les inondations qui ont montré que le développement non contrôlé de l'urbanisation en zone inondable vient à la tête des causes d'inondations avec 94% des cas, il a été décidé de procéder au renforcement du cadre législatif à travers l'application des textes réglementaires en vigueur sur la prévention des risques d'inondation et qui figurent déjà dans la loi 10-95 sur l'eau. Les articles 12 et 20 de cette loi stipulent, entre autres, l'interdiction de bâtir en aval, à proximité et le long des cours d'eau pour éviter les crues. [Zahour et al., 2009]

### 1.3. Problématique de la zone d'étude

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons aux Risques d'inondations dans les bassins versants du centre RGHIOUA

Ce centre est exposé au risque d'inondations provoquées par les crues générées par un ensemble de châabats. L'objectif de cette étude est d'identifier les zones à risque d'inondations dues aux crues des cours traversant le centre RGHIOUA, par l'utilisation combinée du logiciel HEC-RAS et l'outil HEC-GEORAS ce qui permettra de proposer des schémas d'aménagement nécessaires pour la protection de ces zones, en prenant en ligne de compte l'état d'urbanisation actuel et futur des localités de protection contre ce risque le long des cours d'eau qui traversent ce centre.



Le présent rapport passe par plusieurs étapes :

- Elaboration d'un diagnostic de la zone d'étude RGHIOUA
- Détermination des caractéristiques physiographiques des bassins versant du centre.
- Etablir une étude hydrologique en vue d'estimer les débits des crues générées par les cours d'eau qui convergent vers la zone du projet
- Etablir une étude hydraulique pour l'identification des zones à risques d'inondations dues aux crues des cours d'eau traversant le centre

## 2. La région de rghioua

### 2.1. Contexte généra

#### 2.1.1 Cadre naturel

**Commune** : Rghioua

**Cercle** : Taounate

**Province** : Taounate

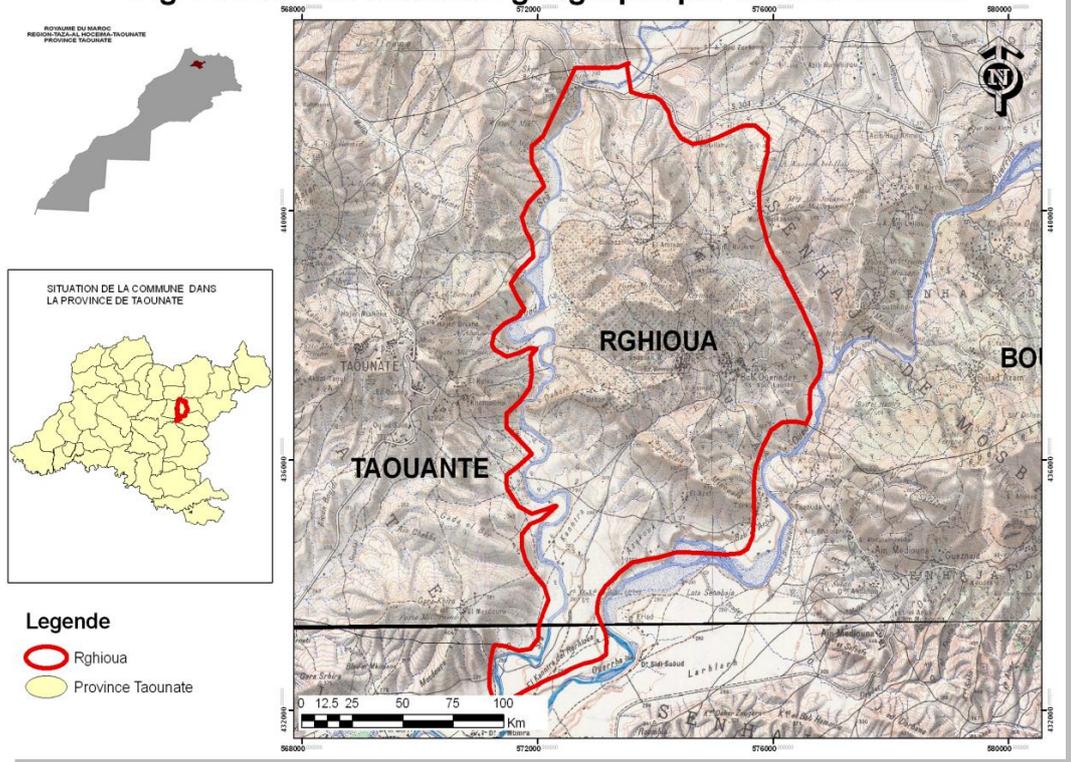
**Bassin** : Sebou

**Superficie** : 526 Km<sup>2</sup>

#### Limites géographiques :

- La commune rurale de Bni Bchir au Nord.
- La commune rurale de Fenassa Bab Lhit à l'Ouest et au Sud.
- Les communes rurales de Tamedit et de Thar Souk à l'Est

Fig.1 : carte de situation géographique de la commune

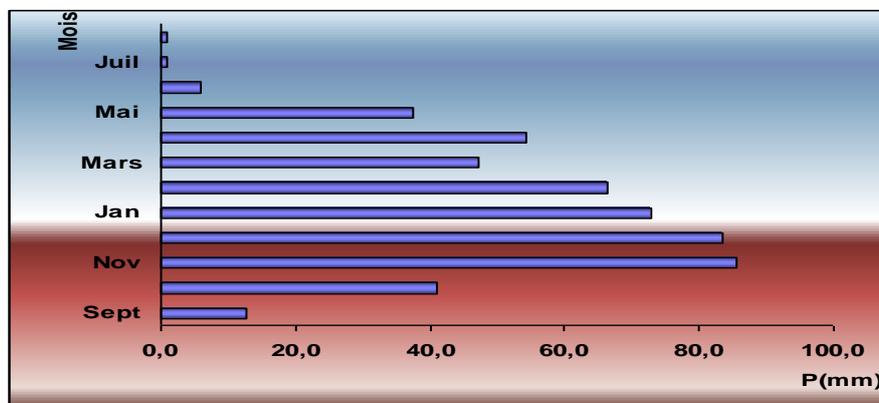


## 2.1.2. Milieu physique

### i. Aspect climatique :

#### PRECIPITATIONS :

La distribution saisonnière des précipitations dans la station de Tissa est marquée par un maximum très accentué en novembre-décembre-janvier; les mois février et mars marquent un palier un peu moins abondant ; les mois juin-juillet-août et septembre sont des mois très secs, le minimum se plaçant d'une manière générale en juillet.





**Fig2 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle moyenne à la station de Ain Aicha**

**TEMPERATURES :**

L'amplitude thermique extrême moyenne se situe dans toute la zone pré-rifaine entre 30 et 32°5 ce qui correspond à un climat semi-continental.

**REGIME DES VENTS :**

Les vents dominants tout au long de l'année sont des vents d'Est.

**EVAPORATION :**

Quant à l'évaporation annuelle, elle vaut en moyenne 990 mm, avec des extrêmes mensuels de 24 mm en Décembre et 180 mm en Août.

**ii. Aspect géologique**

La commune comprend des zones à structure morphologique instable du domaine pré-Rifain, Ce domaine de formation marneuse est très exposé à l'érosion.

La géologie de la commune est assez diversifiée, on trouve :

- Les structures massives marneuses du domaine pré-rifain : les marnes avec de bancs de grès et de calcaire blanc; les grés-conglomératiques avec des calcaires blancs; les marnes détritiques avec des microconglomérats marneux, les marnes avec des bancs calcaires et marno-calcaires.
- les formations épaisses du quaternaire dans les vallées, plateaux et plaines.

La formation pédologique est aussi variée que la morphologie et la géologie du terrain; on peut trouver de grands types de sols dont les vertisols et sols vertiques (tirs) ayant une meilleure valeur agricole.



Chapitre II :

Etude Hydrologique



## 1. Introduction

Dans le cadre de notre travail de fin d'études nous avons été chargés de l'étude de protection contre les inondations de la partie RGHIQUA. Cette étude sera scindée en deux phases principales. La première phase comprend l'étude hydrologique et la deuxième phase consiste à définir des schémas d'aménagement tout en procédant à la modélisation hydraulique des ouvrages existants et projetés. L'objet du présent paragraphe est de définir les crues de projet sous le double aspect du débit de pointe et de l'hydrogramme de crue. Cette étude vise principalement deux objectifs :

- ❖ Estimation des débits de pointe ( $Q_p$ ) à l'entrée des tronçons des cours d'eau étudiés, pour des périodes de retour allant de 10 à 100 ans.
- ❖ Détermination de la forme de l'hydrogramme des crues et par la même occasion, estimation des volumes de crues.

| Débits de pointe    | Méthode  |
|---------------------|--|
| Méthodes empiriques | Hazan-lazarevic , Mallet gauthier et Fuller II |
|                     | Rationnelle                                    |

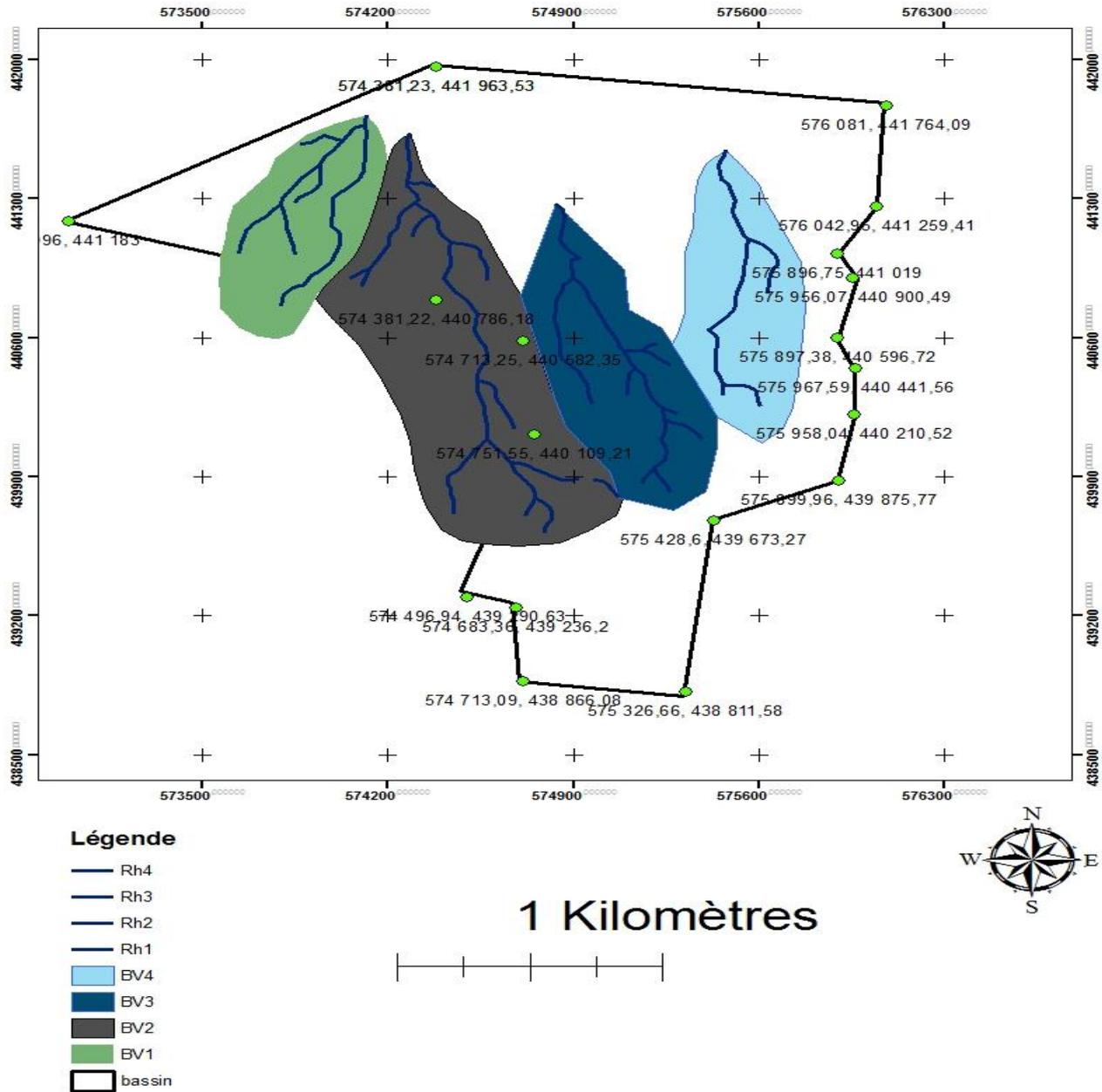
❖ **Tableau 1: Méthodes de détermination des débits de pointe**

## 2. Délimitation des Bassins Versants.

Sur la base de la carte topographique 1/25000 de la zone RGHIQUA, ainsi que la restitution 1/5000 de notre zone d'étude, la délimitation des bassins versants a été effectuée. L'outil utilisé à cet effet est le logiciel ArcGIS.

La délimitation obtenue est présentée par la figure suivante

sous bassin de la zone rghioua



**Fig3. Carte des sous bassins de la zone Rghioua**

Les caractéristiques des bassins versants sont présentées dans le tableau suivant :



Tableau2 : Caractéristiques des Bassins Versants

|                          | Surface<br>(km <sup>2</sup> ) | Périmètre<br>(km) | Longueur<br>(km) | Largeur<br>(km) | kG   | H max | H min | Pente e |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|------|-------|-------|---------|
| <b>Sous bassin<br/>1</b> | 1.13                          | 2.77              | 0.85             | 0.51            | 1.16 | 522   | 320   | 0.20    |
| <b>Sous bassin<br/>2</b> | 0.61                          | 5.05              | 1.93             | 0.58            | 1.33 | 660   | 360   | 0.15    |
| <b>Sous bassin<br/>3</b> | 0.5                           | 3.61              | 1.32             | 0.46            | 1.29 | 750   | 350   | 0.3     |
| <b>Sous bassin<br/>4</b> | 0.5                           | 3.24              | 1.18             | 0.42            | 1.28 | 590   | 380   | 0.17    |

Avec :

**S** : Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>;

**P** : Périmètre du bassin versant en Km;

**L** : Longueur du plus long Thalweg en Km;

**l** : la largeur en Km ;

**H<sub>min</sub>** : Côte minimale du plus long Thalweg en mNGM;

**H<sub>max</sub>** : Côte maximale du plus long Thalweg en mNGM;

**K<sub>G</sub>** : Indice de forme de Gravelius.

- La forme d'un bassin versant influe sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire. Cette forme est caractérisée par plusieurs paramètres géométriques. La superficie, la longueur du plus grand Thalweg, le périmètre, la côte maximale et la côte minimale peuvent être appréciés directement depuis la délimitation montée sur Autocad.

L'indice de forme de Gravelius est donné par la formule suivante :

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Les indices de Gravelius obtenus sont tous supérieurs à la valeur 1, ce qui est typique des bassins de forme allongée.



- Réseau hydrographique : Le réseau hydrographique de Bassin de rghiwa présente un cours d'eau principal ayant une périmètre varie entre 2.77 km et 3,24 km . La pente moyenne de ce cours d'eau a été calculée grâce à la relation suivante :

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L}$$

Où :

**delta Hmax** : est la différence entre les points extrêmes du cours d'eau principal du bassin versant

**L:** est la longueur curviligne du cours d'eau

### 3. La méthodologie adoptée pour l'étude des crues :

#### 3.1 Temps de concentration:

Il caractérise le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin versant la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. son calcul se fait par plusieurs formule :

##### 3.1.1. La formule de Giondotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{D}}$$

Où :

$T_c$ : Temps de concentration en heures,

$S$  : surface du BV en Km<sup>2</sup>,

$L$ : longueur du Talweg en Km,

$DH$ : Dénivelée maximale du BV en m.

*Cette formule est la mieux adaptée aux bassins versants ruraux*

##### 3.1.2. La formule de kirplich :

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}$$

Où :

$T_c$ : temps de concentration en min,

$L$  : longueur du Talweg en m,

$I$ : pente moyenne du Talweg en m/m.

##### 3.1.3 La formule de Turazza :

$$T_c = 0.108 \times (S \times L)^{0.333} \times I^{0.5}$$



Où :

**T<sub>c</sub>**: temps de concentration en h,  
**L** : longueur du Talweg en km,  
**I**: pente moyenne en m/m.  
**S** : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup> .

### 3.1.4 La formule de passini :

$$t_c = 6,48 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{S}}$$

Où :

**T<sub>c</sub>**: temps de concentration en min,  
**L** : longueur du Talweg en km,  
**S = I** : la pente en m/m  
**A** : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>

**Tableau 3 : Résultats du temps de concentrations**

| <i>TC</i><br><i>BV</i> | Formule de Giondotti (min) | Formule de Kirplich (min) | Formule de Passini (min) | Formule de Ventura (min) | <i>TC</i> du projet (min) |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <i>BV1</i>             | 20.4                       | 5.82                      | 10.43                    | 11.43                    | 12.02                     |
| <i>BV2</i>             | 30.6                       | 12.84                     | 21.70                    | 19.82                    | 21.24                     |
| <i>BV3</i>             | 18.6                       | 7.42                      | 11.00                    | 10.86                    | 11.97                     |
| <i>BV4</i>             | 23.4                       | 8.36                      | 13.18                    | 13.06                    | 14.5                      |

### 3.2.la formule empirique :

Les formules empiriques d'estimation des débits de référence qui seront utilisés dans le cadre de la présente étude sont présentées ci-après.

De manière générale , les formules de **Hazan-lazarevic** , **Mallet Gauthier** et **Fuller II** ,il sont mieux adaptées pour les bassins de grande superficie (> 20km<sup>2</sup> ), et la formule **rationnelle** est



la plus utilisées pour les petits bassins versants (< 20km<sup>2</sup>), ces formules sont présentées ci après :

### 3.2.1. Formule de hazan et lazarevic :

Cette formule s'écrit sous la forme suivante :

$$Q(T) = a x A^b * (1 + \log T / 1 + \log 1000)$$

**A** : Surface BV (en Km<sup>2</sup>)

**a et b** : paramètres régionaux variable suivant la région

**T** : période de retour en ans

| Période de retour<br>T (ans) | a<br>(mm/min) | B     |
|------------------------------|---------------|-------|
| 10                           | 4.285         | 0.568 |
| 50                           | 6.147         | 0.566 |
| 100                          | 6.934         | 0.566 |

### 3.2.2. La formule de Mallet-Gauthier :

$$Q_T = 2.K.\log(1+a.H(T)).A.\sqrt{(1 + 4.\log T - \log A)}/\sqrt{L}$$

**Q<sub>T</sub>** : Débit max(en m<sup>3</sup>/s) pour la période de retour T

**A** : Surface BV (en Km<sup>2</sup>)

**L** : Longueur du BV (en Km)

**H** : pluviométrie moyenne annuelle de pluie (en m)

**a** : coefficient 20 < a < 30 (au Maroc a=15)

**K** : coefficient de 0,5 < K < 6 (au Maroc K=1)

**T** : période de retour.

### 3.2.3. Formule de FULER II :

L'expression de cette équation se présente sous la forme suivante :

$$Q_T = (1+a.\log T).(S^{0,8}+8/3.S^{0,5}).4/3.N/100$$

**Q<sub>T</sub>** : Débit max(en m<sup>3</sup>/s) pour la période de retour T

**T** : et la période de retour (en ans) .



**S** : Surface BV (en Km<sup>2</sup> ) .

**a** : coefficient  $0,80 < a < 1,2$  (évent. 2 pour le Nord).

$0.7 < a < 0.8$  grande bassins versants et région bien arrosées

$0.8 < a < 2$  régions arides+

$3 < a < 3,5$  pour les oueds sahariens

**N** : coefficient régional qui varie entre 80 et 100 :

N= 80 pour la plaine

N= 85 pour les régions accidentées

N=100 en montagne

### 3.3. Méthode rationnelle :

Cette méthode repose sur le principe suivant : le débit à l'exutoire d'un bassin soumis à une averse homogène dans le temps et dans l'espace d'intensité I, atteint son maximum lorsque la durée de l'averse est égale au temps de concentration du bassin versant.

Le débit maximal est donné par la formule :

$$Q = C * I * A$$

**Q** : débit en m<sup>3</sup>/s

**I** : Intensité de l'averse en m/s de durée égale au temps de concentration du bassin et de Fréquence égale a celle du débit cherché

**A** : Superficie du BV en m<sup>2</sup>

**C** : coefficient de ruissèlement (= 0.4)

## 4. Résultats :



**Tableau 4 : Résultats des débits pour Bassin versant 1**

|       |                     | Q10 (m <sup>3</sup> /s) | Q50 (m <sup>3</sup> /s) | Q100 ( m <sup>3</sup> /s) |
|-------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| BV 1  | Méthode rationnelle | 2.99                    | 3.52                    | 4.92                      |
|       | Formule de Fuller I | 7.77                    | 9.80                    | 11.36                     |
|       | Mallet-Gauthier     | 8.20                    | 11.11                   | 11.90                     |
|       | Hazan et Lazarevic  | 1.34                    | 1.81                    | 2.01                      |
| Q MOY |                     | 5.07                    | 6.56                    | 7.54                      |

**Tableau 5 : Résultats des débits pour Bassin versant 2**

|       |                     | <i>Q10</i><br><i>m<sup>3</sup>/s</i> | <i>Q50</i><br><i>m<sup>3</sup>/s</i> | <i>Q100</i><br><i>m<sup>3</sup>/s</i> |
|-------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| BV 2  | Méthode rationnelle | 5.42                                 | 8.13                                 | 9.04                                  |
|       | Formule de Fuller I | 13.38                                | 16.16                                | 18.84                                 |
|       | Mallet-Gauthier     | 14.75                                | 18.46                                | 19.84                                 |
|       | Hazan et Lazarevic  | 1.53                                 | 4.44                                 | 5.57                                  |
| Q MOY |                     | 8.77                                 | 11.79                                | 13.32                                 |

**Tableau 6 : Résultats des débits pour Bassin versant 3**

|       |                     | <i>Q10</i><br><i>m<sup>3</sup>/s</i> | <i>Q50</i><br><i>m<sup>3</sup>/s</i> | <i>Q100</i><br><i>m<sup>3</sup>/s</i> |
|-------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| BV 3  | Méthode rationnelle | 4.14                                 | 5.12                                 | 7.07                                  |
|       | Formule de Fuller   | 9.37                                 | 11.61                                | 13.49                                 |
|       | Mallet-Gauthier     | 9.89                                 | 12.25                                | 13.14                                 |
|       | Hazan et Lazarevic  | 1.61                                 | 3.13                                 | 3.93                                  |
| Q MOY |                     | 6.25                                 | 8.02                                 | 9.40                                  |



**Tableau 7 : Résultats des débits pour Bassin versant 4**

|              |                            | $Q_{10}$<br>$m^3/s$ | $Q_{50}$<br>$m^3/s$ | $Q_{100}$<br>$m^3/s$ |
|--------------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| <b>BV 4</b>  | <b>Méthode rationnelle</b> | <b>3.00</b>         | <b>4.40</b>         | <b>5.00</b>          |
|              | <b>Formule de Fuller I</b> | <b>8.36</b>         | <b>10.47</b>        | <b>12.15</b>         |
|              | <b>Mallet-Gauthier</b>     | <b>8.64</b>         | <b>10.68</b>        | <b>11.45</b>         |
|              | <b>Hazan et Lazarevic</b>  | <b>1.44</b>         | <b>2.80</b>         | <b>3.51</b>          |
| <b>Q MOY</b> |                            | <b>5.36</b>         | <b>7.08</b>         | <b>8.02</b>          |



Chapitre III :

Etude hydraulique



---

## 1. Introduction

Une modélisation de la propagation de la crue dans la zone a été effectuée dans le but de déterminer les niveaux des Plus Hautes Eaux atteints de manière à délimiter les zones inondables.

## 2. Présentation des modèles :

### 2.1. Présentation ArcGIS :

ArcGIS est un système permettant d'utiliser des cartes et des informations géographique. Il permet d'effectuer les tâches :

- Créations et utilisation de cartes
- Compilation de données géographiques
- Analyse de l'information appariée
- Partage et détections des informations géographiques dans diverses applications
- Utilisation des cartes et des informations géographique dans une base de données

Le système fournit une infrastructure permettant la mise à disposition des cartes et des informations géographiques dans une organisation, une communauté ou publiquement sur le Web

#### 2.1.1. Méthodologie du travail :

-Délimitation de la zone d'étude et la délimitation des 4 sous bassins :

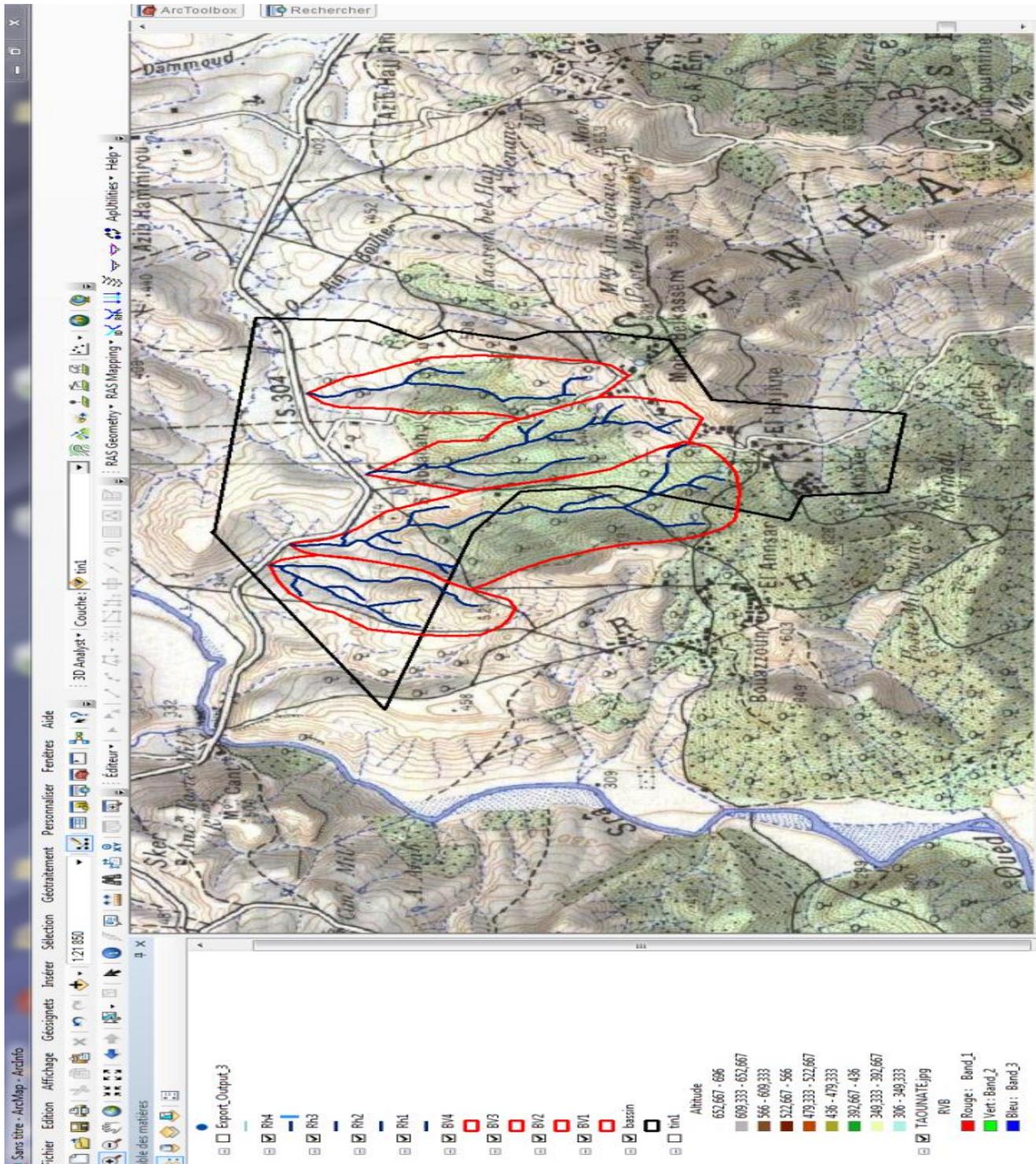


Fig4. Carte de délimitation de la zone d'étude

### Création d'un TIN :

Un TIN est une structure de données vectorielles qui divise l'espace géographique en triangles contigus, non superposés. les sommets de chaque triangle sont des points de données d'échantillonnage de valeurs  $x,y,z$ . Ces points d'échantillonnage sont reliés par des lignes pour former des triangles de Delaunay. les TIN sont utilisés pour le stockage et l'affichage de modèles de surface. Ils servent de structure d'arrière-plan, construite à la demande par les MNT

### Résultat :

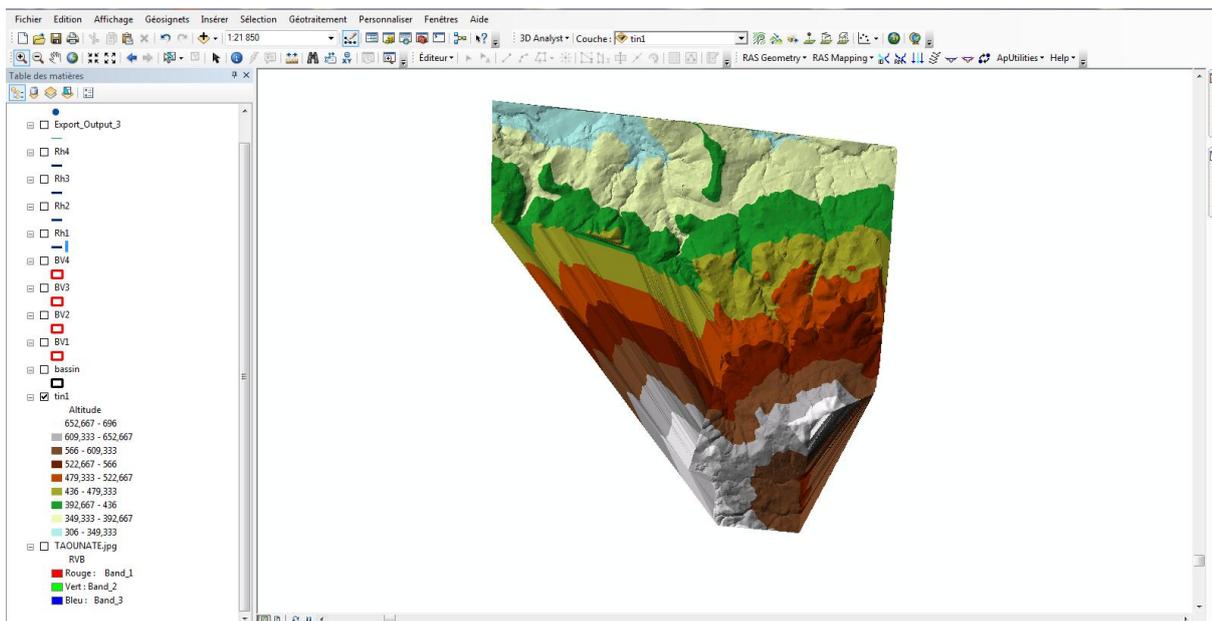


Fig 5. Carte d'un TIN sur ArcGIS

### 2.1.2 Présentation du HEC-RAS :

Pour les besoins de cette étude, on a utilisé le modèle mathématique "HEC-RAS 4.1.0" (Hydrologic Engineering Center, River Analysis System) élaboré par le centre d'Ingénierie hydraulique des corps des ingénieurs de l'armée Américaine pour la modélisation d'un réseau fluvial. HEC-RAS est un progiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire et d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau.



La modélisation de la zone se base sur les profils en travers et sur les coefficients de rugosité pour chaque section. Une simulation avec le progiciel se déroule de la manière suivante :

✓ Données d'entrée:

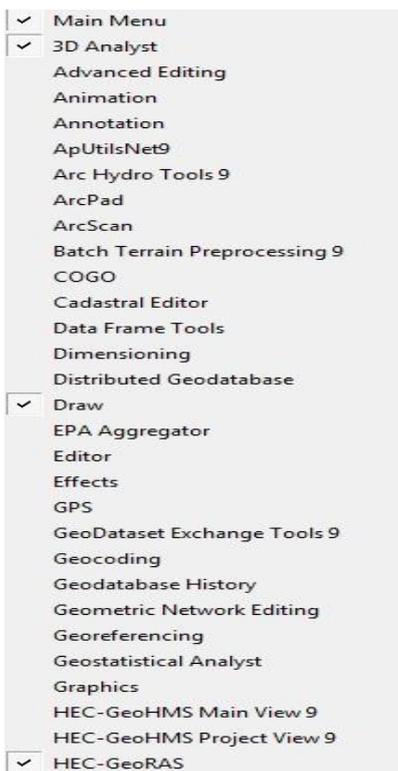
- La topographie des profils en travers du cours d'eau ;
- Les distances entre les profils ;
- Le coefficient de Manning par zone homogène ;
- Une description hydraulique des ouvrages (Ponts, dalots, etc.) ;
- Les conditions limites (amont et aval) ;
- Les débits des crues.

✓ Les résultats des calculs concernent :

- Les niveaux d'eau et d'énergie dans chaque profil en travers ;
- Les vitesses d'écoulement dans chaque section.

### 2.2.1 Tutoriel d'utilisation de HEC-GeoRAS avec ArcGIS 10.1 :

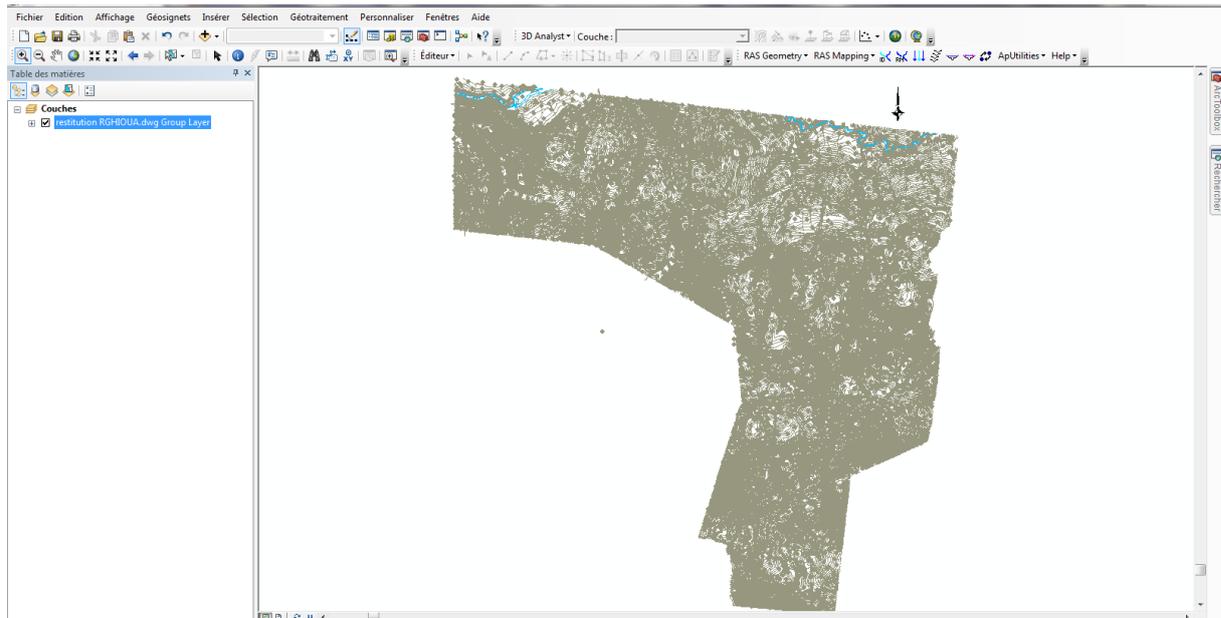
En ouvrant ArcGIS, assurez vous que les extensions nécessaires sont activées et pour ce aller vers **View Toolbars** (*HEC-GeoRAS*, *3D Analyst..*)



#### Barre de taches HEC-GeoRAS

### 2.2.2. Etape de modélisation :

**1. Ouvrez votre fichier ArcGIS et copier la restitution de la zone avec les coordonnées d'origines.**



**Fig6 Restitution de la zone sur ArcGIS**

**2.** Ouvrez un nouveau fichier ArcMap, sauvegardez le dans un dossier, ce dossier contiendra tout les éléments du projet.

**3.** Sur Arcgis appuyer sur Add Data  , et choisissez votre élément cible (le fichier Autocad précédemment enregistré). N'ajoutez que les polyline.

**4.** 3D Analyst  Create/Modify TIN  Create TIN From Features

**5.** RAS Geometry  Create RAS Layers  Stream Centerline, nous venons de créer la couche River que nous peuplerons via l'outil Editor.



Nous commencerons par digitaliser notre rivière en veillant à bien suivre le centre de la rivière. On commencera par l'amont en direction vers l'aval.

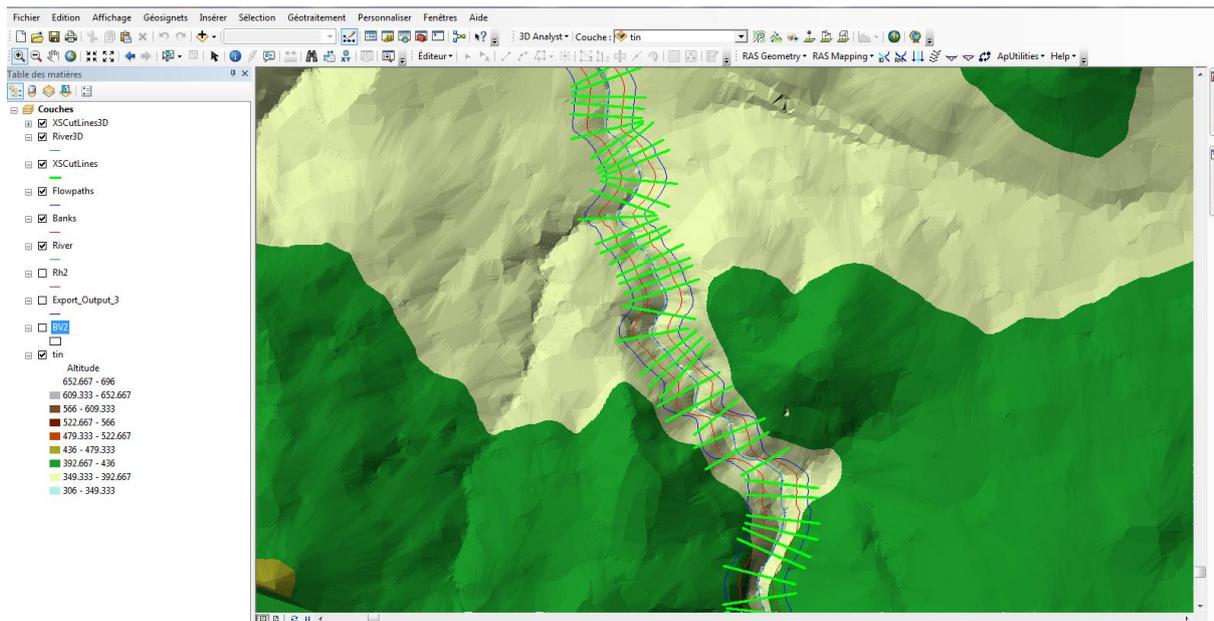
Cliquez sur  afin d'assigner un identifiant à la rivière.

*RAS Geometry*  *Stream Centerline Attributes*  *All*, nous venons de calculer les attributs de la rivière.

6. Nous créerons de la même manière la couche Bank lines qui représente les berges de la rivière.

7. Ensuite la couche Flow path représentant la zone d'études, et nous déterminerons la nature de chaque élément de la couche via .

8. Créez la couche XS Cut lines, ensuite afin de générer les Cut lines appuyez sur , vous introduirez le pas et la largeur voulu des Cut lines, les Cut lines ne doivent pas dépasser la limite des flow path et il ne doit pas y avoir d'intersection entre eux.



**Fig7. Carte des 4 couches River, Banks, Flowpaths et XS Cut lines**

Nous calculerons les attributs de cette couche comme fait pour les couches précédentes. D'autres couches peuvent être ajoutées, tout dépend de l'utilisateur.

9. Après s'être assuré des couches qu'on a sur *Layer Setup*, nous exporterons les données géométriques.

RAS Geometry  Export RAS Data

10. Dans les étapes qui suivent nous supposons que l'utilisateur maîtrise le logiciel HEC-RAS.

Après exportation des données, ouvrir HEC-RAS et enregistrez un nouveau projet.

Allez sur l'outil géométrie de HEC-RAS.

File Import Geometry Data GIS Format

Vous veillerez à corriger et à vérifier toutes les données géométriques, cad les propriétés de chaque profil en travers.

Introduire vos données de débits et lancer les calculs.



---

## 2. Simulation du passage de crue dans la situation actuelle

### 3. 3.1. Coefficients de rugosité de Manning n

Les coefficients de rugosité sont estimés sur la base des observations de terrain en prenant en considération tous les changements de la morphologie du lit de l'oued, les matériaux constitutifs des lits des cours d'eau, de la présence éventuelle de végétations et de la géologie locale de surface des différents centres et présentée précédemment. Ce coefficient « n » de Manning varie entre 0.025 et 0.1.



Tableau 9. Des valeurs des coefficients de n Manning

### Valeurs du coefficient n de Manning

| Nature des surfaces  | Etats des parois |        |           |         |
|--|------------------|--------|-----------|---------|
|  | Parfait          | Bon    | Assez bon | Mauvais |
| <b>A) Canaux artificiels</b>   |                  |        |           |         |
| Ciment lissé   | 0,01             | 0,011  | 0,012     | 0,013   |
| Mortier de ciment  | 0,011            | 0,012  | 0,013     | 0,015   |
| Aqueducs en bois raboté  | 0,01             | 0,012  | 0,013     | 0,014   |
| Aqueducs en bois non raboté  | 0,011            | 0,013  | 0,014     | 0,015   |
| Canaux revêtus de béton  | 0,012            | 0,014  | 0,016     | 0,018   |
| Moëllons bruts   | 0,017            | 0,02   | 0,025     | 0,03    |
| Pierres sèches   | 0,025            | 0,03   | 0,033     | 0,035   |
| Moëllons dressés   | 0,013            | 0,014  | 0,015     | 0,017   |
| Aqueducs métalliques à section demi-circulaire lisse                     | 0,011            | 0,012  | 0,013     | 0,015   |
| Aqueducs métalliques à section demi-circulaire plissée                   | 0,0225           | 0,025  | 0,0275    | 0,030   |
| Canaux en terre droits et uniformes                                      | 0,017            | 0,020  | 0,0225    | 0,025   |
| Canaux avec pierres, lisses et uniformes                                 | 0,025            | 0,030  | 0,033     | 0,035   |
| Canaux avec pierres, rugueux et irréguliers                              | 0,035            | 0,040  | 0,045     | -       |
| Canaux en terre à larges méandres  | 0,0225           | 0,025  | 0,0275    | 0,030   |
| Canaux en terre dragués  | 0,025            | 0,0275 | 0,030     | 0,033   |
| Canaux à fond en terre, côtés avec pierres                               | 0,028            | 0,030  | 0,033     | 0,035   |
| <b>B) Cours d'eau naturels</b>   |                  |        |           |         |
| 1) Propres, rives en ligne droite  | 0,025            | 0,0275 | 0,030     | 0,033   |
| 2) Idem 1 avec quelques herbes et pierres                                | 0,030            | 0,033  | 0,035     | 0,040   |
| 3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres | 0,035            | 0,040  | 0,045     | 0,050   |
| 4) Idem 3, l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles              | 0,040            | 0,045  | 0,050     | 0,055   |
| 5) Idem 3, avec quelques herbes et pierres                               | 0,033            | 0,035  | 0,040     | 0,045   |
| 6) Idem 4, avec pierres  | 0,045            | 0,050  | 0,055     | 0,060   |
| 7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes    | 0,050            | 0,060  | 0,070     | 0,080   |
| 8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes                               | 0,075            | 0,100  | 0,125     | 0,150   |

### 3.2. Conditions aux limites

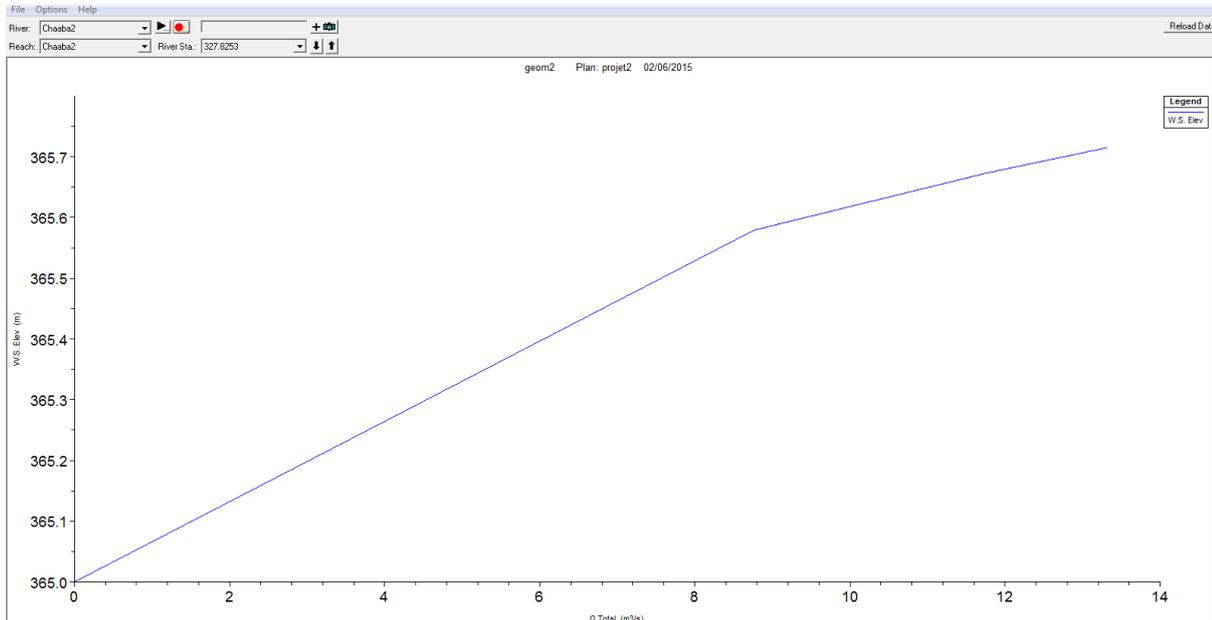
L'étape suivante de la modélisation hydraulique est de spécifier les débits utilisés pour calculer les profils d'écoulements. Les résultats d'une analyse de fréquence des débits maximums sont utilisés pour calculer les profils d'écoulements correspondants. Les débits utilisés ont été obtenues à partir de l'étude hydrologique réalisés et réaffichés dans le tableau suivant :

| T(ans)               | T=10 | T=50  | T=100 |
|----------------------|------|-------|-------|
| Q(m <sup>3</sup> /s) | 8.77 | 11.79 | 13.32 |

### 4. Restitution de la courbe de tarage :



Le logiciel Hec-ras a permis de fournir une représentation de la variation de la hauteur d'eau en (m) en fonction de débit m<sup>3</sup>/s



**Fig8 : Courbe de tarage obtenu à partir de HEC-RAS de Chaabat 2. (*Annexe I*)**

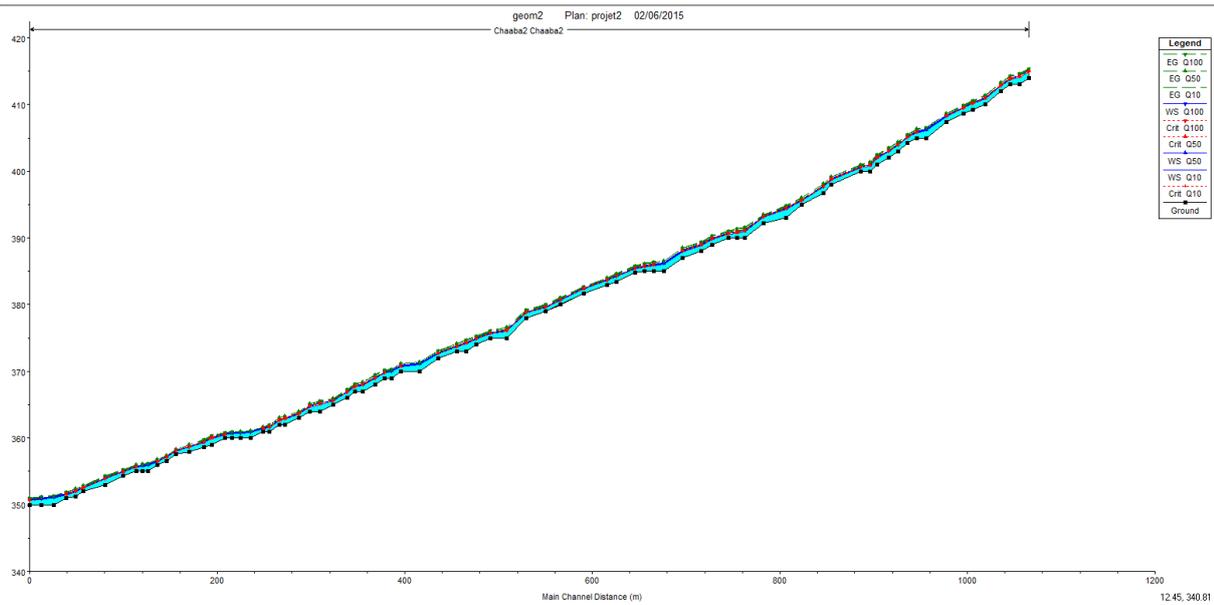
Le graphique représente la courbe de tarage décrivant la relation entre les hauteurs d'eau et les débits correspondants d'un cours d'eau. Le débit s'annule en 365.0 m puis il augmente progressivement jusqu'à 356.6 m après la courbe apparaît plus au moins linéaire pour les hauteurs fortes.

#### 4.1. Résultats des simulations

Les modèles établis ont permis de simuler le passage des crues de fréquences pour 10, 50 et 100 ans.

Les tableaux des résultats ci-dessous récapitulent quelques facteurs caractérisant les régimes d'écoulement. Ainsi, pour chaque section de calcul et pour chaque fréquence sont donnés les paramètres suivants :

- La cote minimale de la section concernée ;
- La cote maximale atteinte par l'eau au passage de la crue (PHE) ;
- La vitesse de l'écoulement ;
- La section mouillée et la largeur au miroir d'eau ;



**Fig 9 : Profil en long de la ligne d'eau de Chaaba 2 (Annexe II)**



---

## Conclusion générale

Le présent travail consiste à la délimitation des zones inondables dans la région de Rghioua. Cette opération s'est effectuée en deux phases :

- La partie Hydrologique qui se résume par le calcul des temps de concentration, des débits par plusieurs formules pour l'étude de la protection contre les inondations du centre Rghioua.
- La partie Hydraulique qui se présente par la réalisation et l'étude de la modélisation hydraulique de la grande Chaâba qui coule dans le centre de Rghioua. Elle consiste à déterminer les zones de débordement en utilisant le système d'information géographique (SIG) et le logiciel de modélisation hydraulique de rivière (HEC-Ras) qui permettent de reproduire l'état de la zone naturelle sous forme numérique.



## Bibliographie

- ArcGIS : " ArcGIS 10.1 simplifie le partage de l'information géographique: Nouveaux outils et l'infrastructure d'étendre la portée des SIG dans les organisations " (Press release). Esri. 2012-06-11. Archived from the original on 2012-06-15.

Site Internet : <http://www.esri.com/news/releases/12-2qtr/arcgis-101-simplifies-sharing-of-geographic-information.html>

- BASTIAN MARTINE. **Etude préalable du Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) du bassin versant de la Fensch.** ENGEES : 2011
- G. ZAHOUR & H. OUAFIK. « **Réglementation Et Législation En Matière De Gestion Des Inondations Au Maroc. Quels Apports De La Loi 10 95 ?** », Revue HTE N°143/144, Sept./Déc. 2009.
- HEC-RAS : Barkau, R. L. (1992). " **écoulement instable unidimensionnel à travers un réseau complet de canaux ouverts** "programme d'ordinateur. St. Louis, MO.

Site Internet : <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

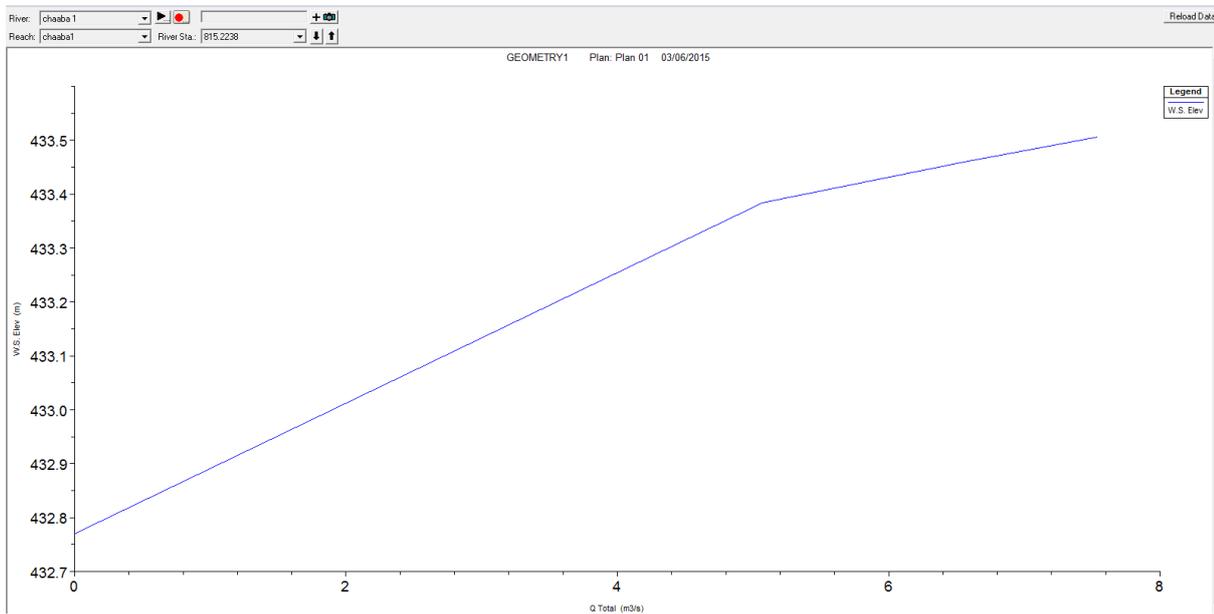


# Annexe I:

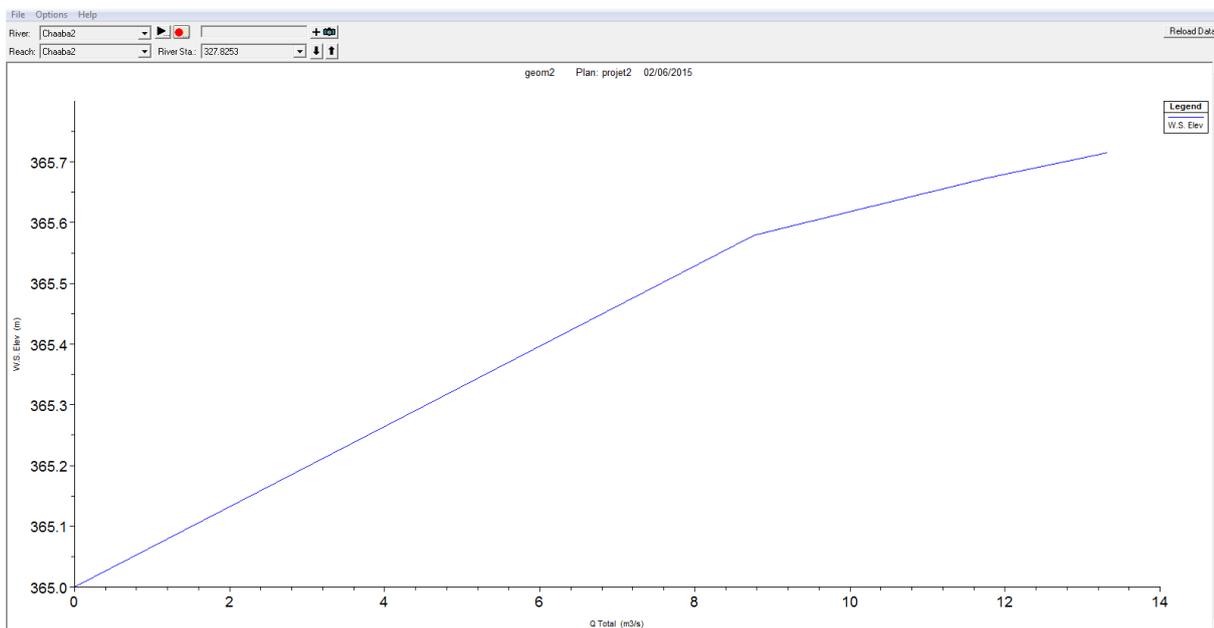
*Courbe de tarage obtenu à partir de HEC-RAS*



## Chaaba 1 :

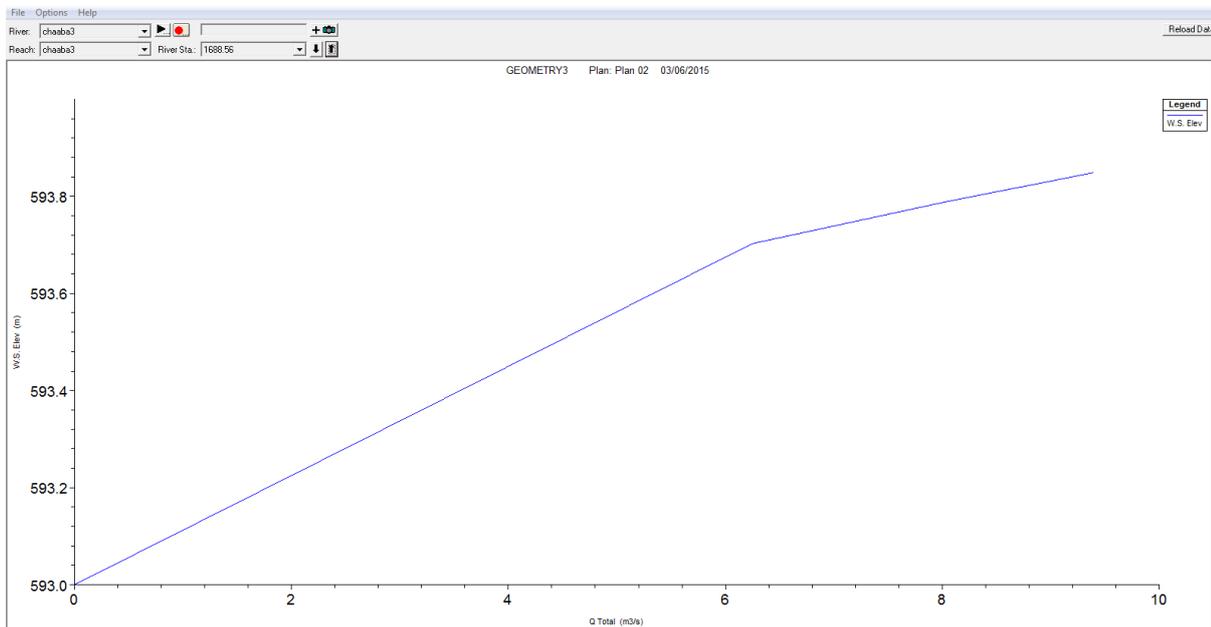


## Chaaba2 :

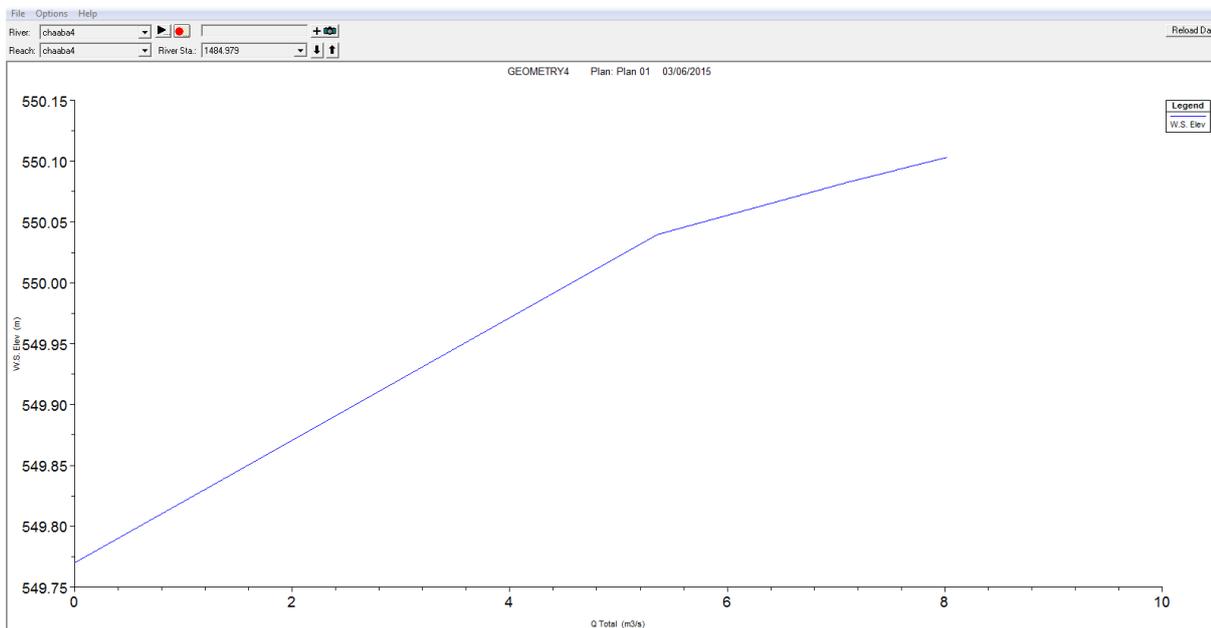




### Chaaba 3 :



### Chaaba 4 :

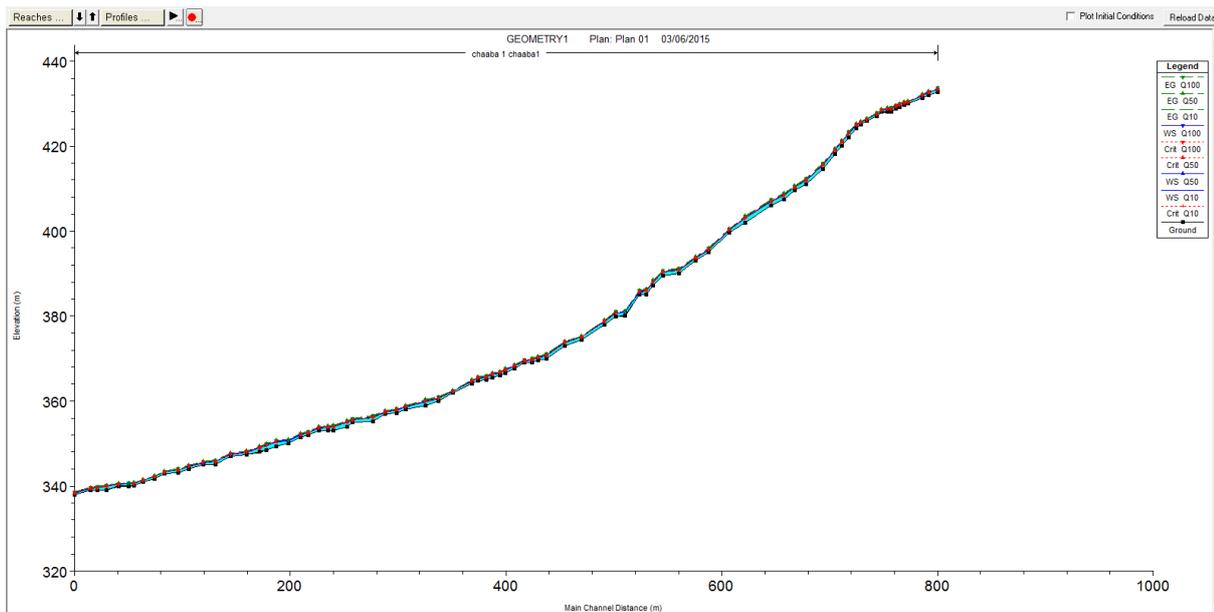




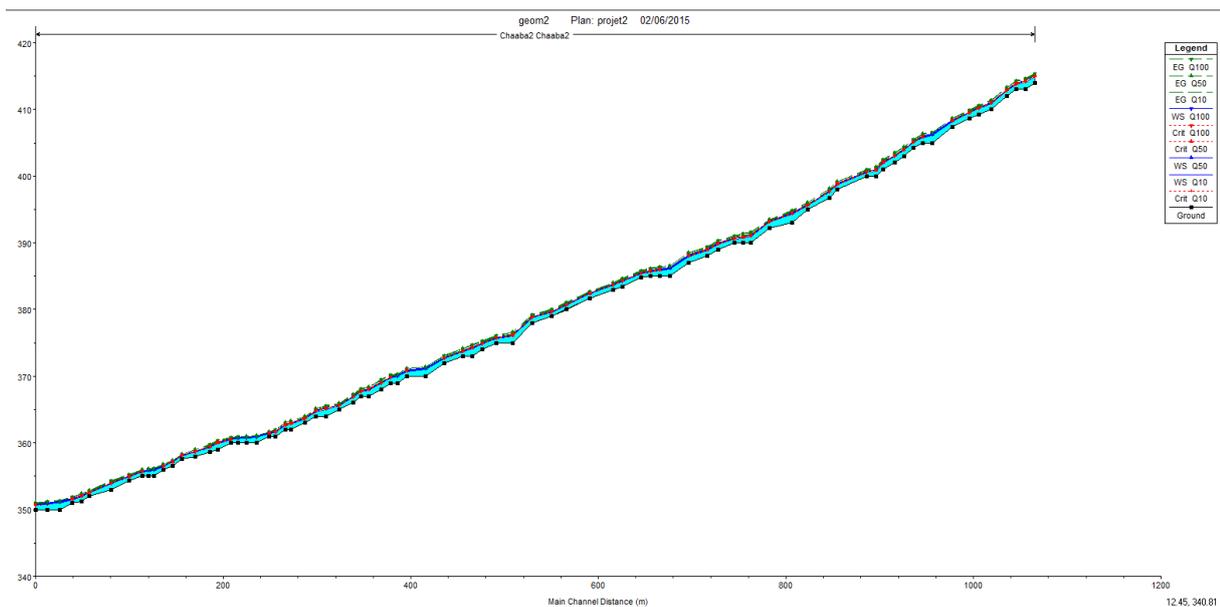
## Annexe II :

### *Profil en long de la ligne d'eau*

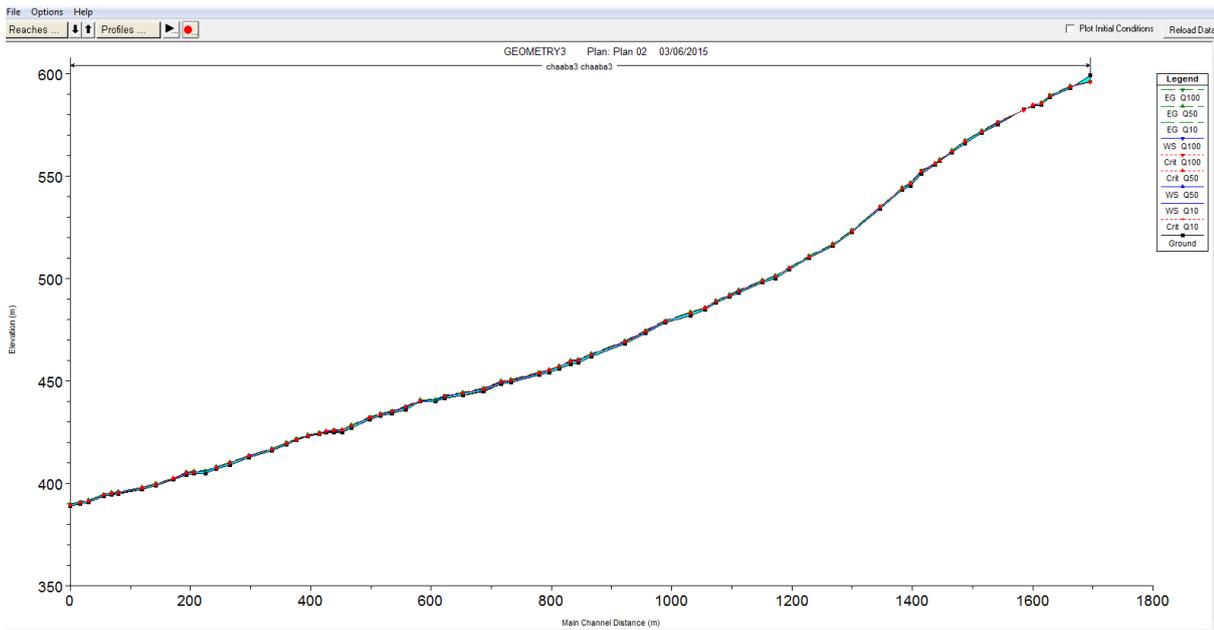
Chaaba 1 :



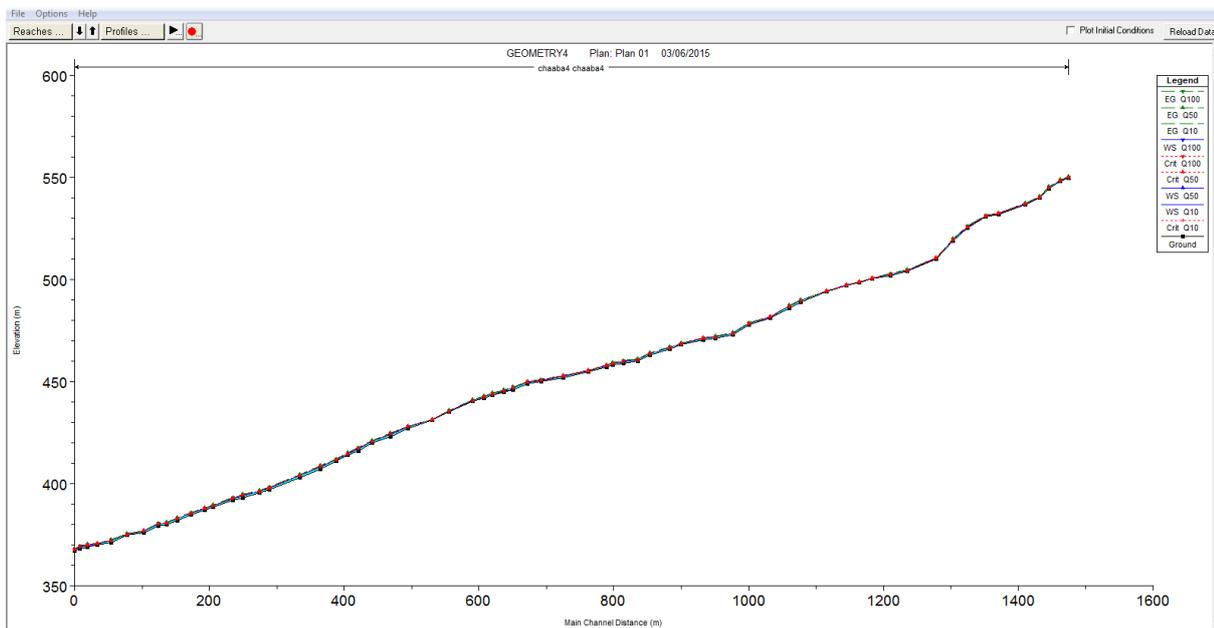
## Chaaba2 :



## Chaaba 3 :



## Chaaba 4 :





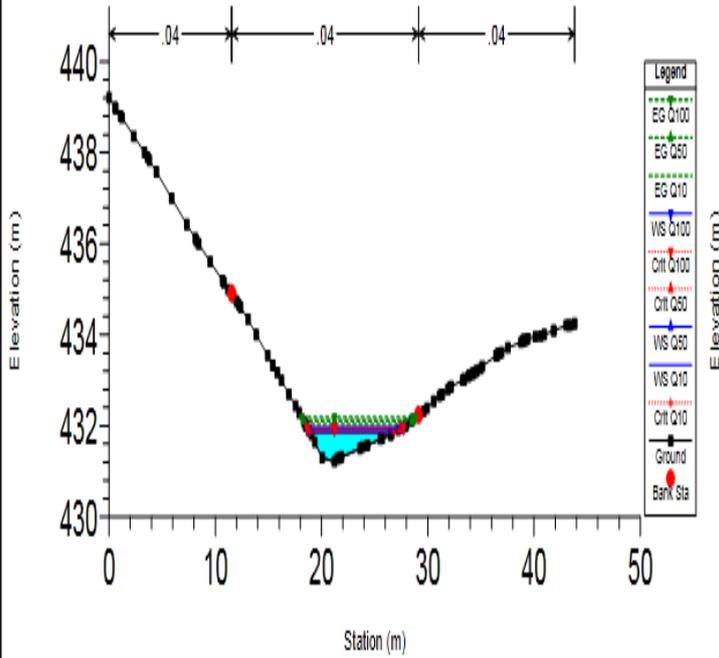
# **Annexe III :**

## **Profil en travers d'une section du bassin versant**

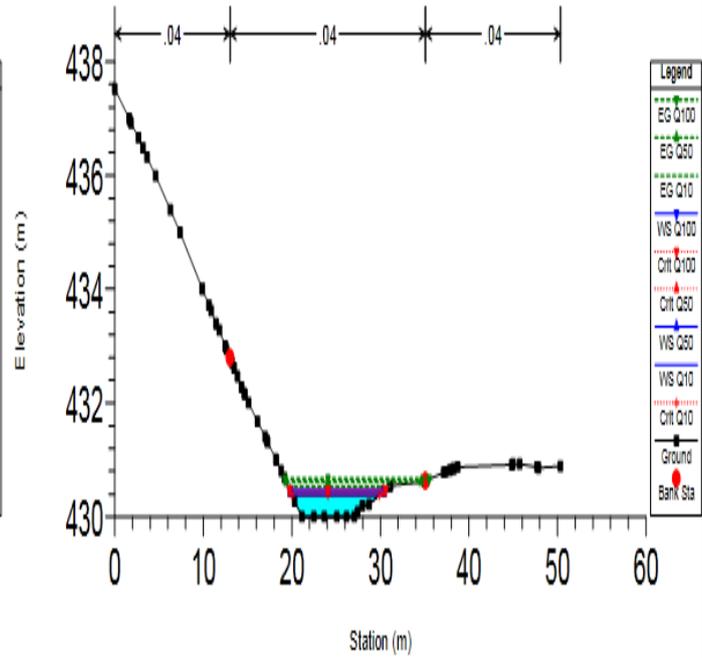
**Chaaba 1 :**



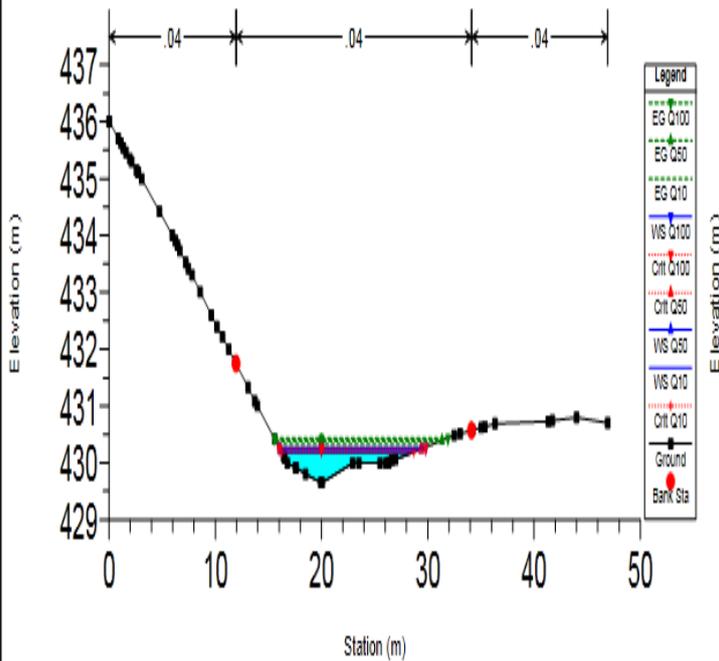
GEOMETRY1 Plan: Plan 01 03/06/2015



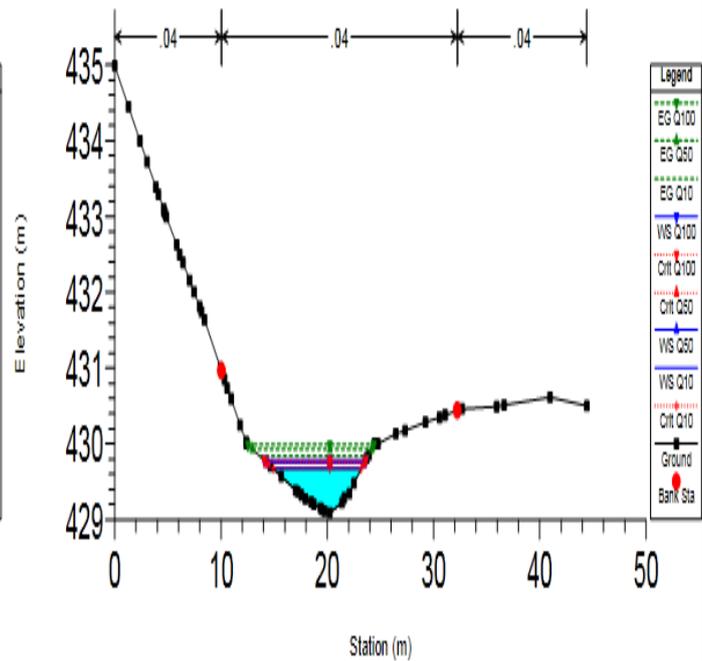
GEOMETRY1 Plan: Plan 01 03/06/2015



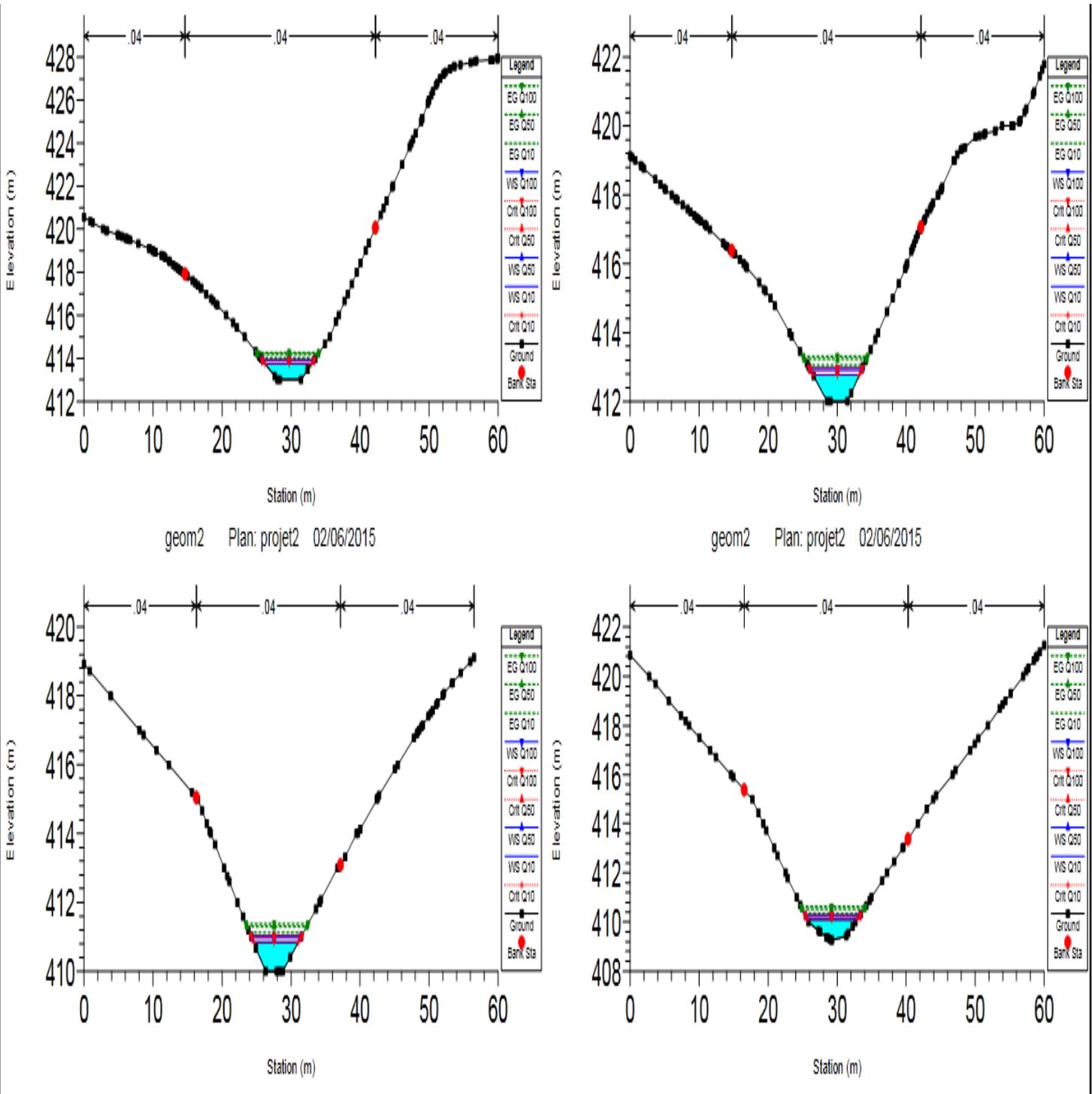
GEOMETRY1 Plan: Plan 01 03/06/2015



GEOMETRY1 Plan: Plan 01 03/06/2015



## Chaaba 2 :

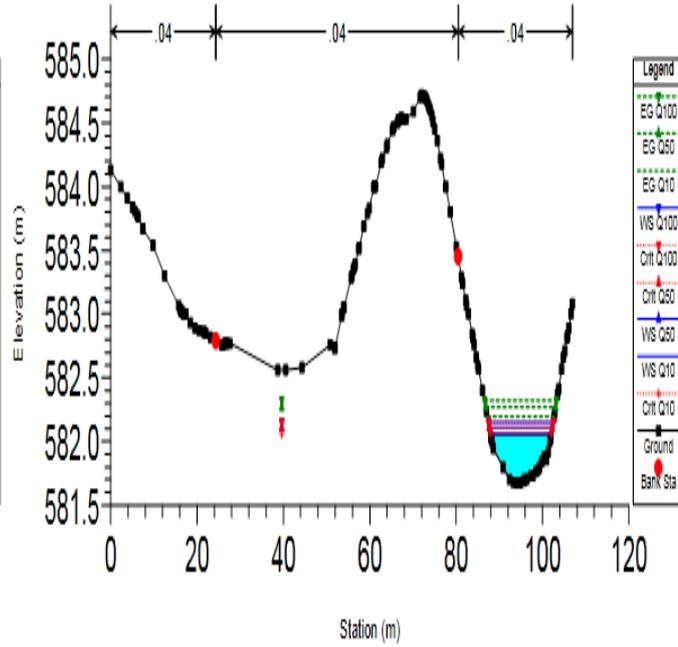
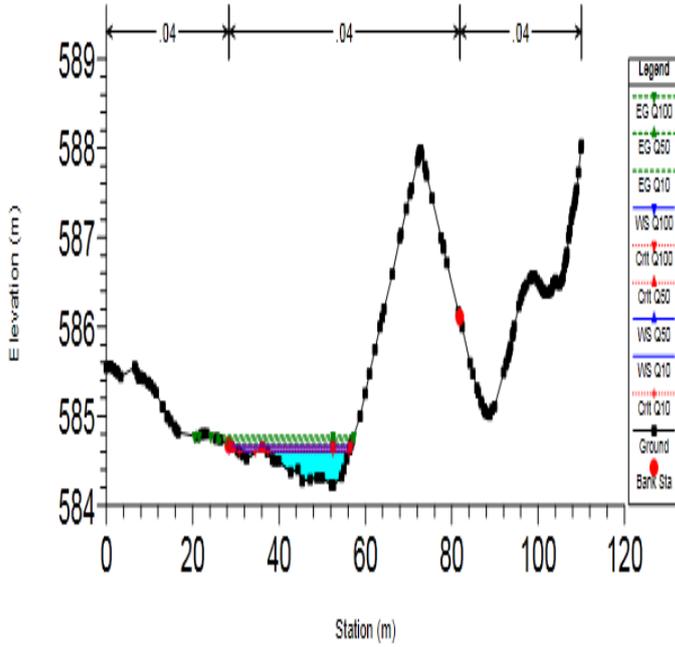


**Chaaba 3 :**



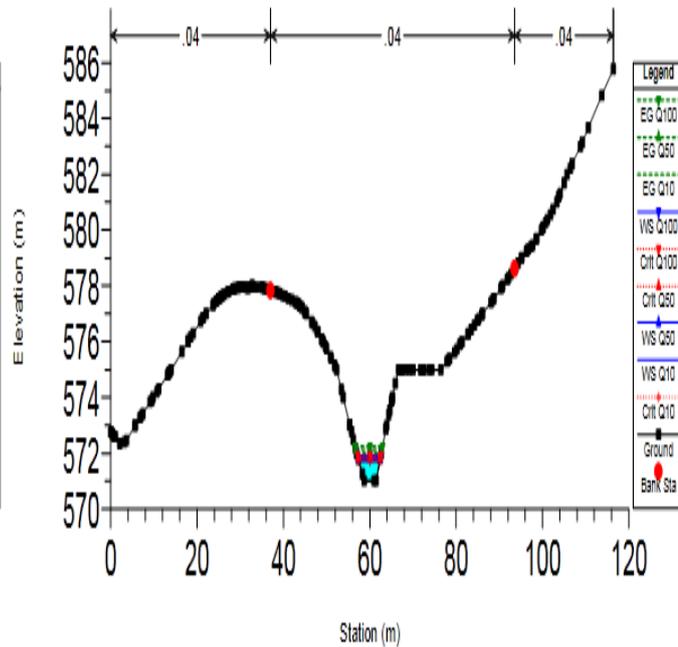
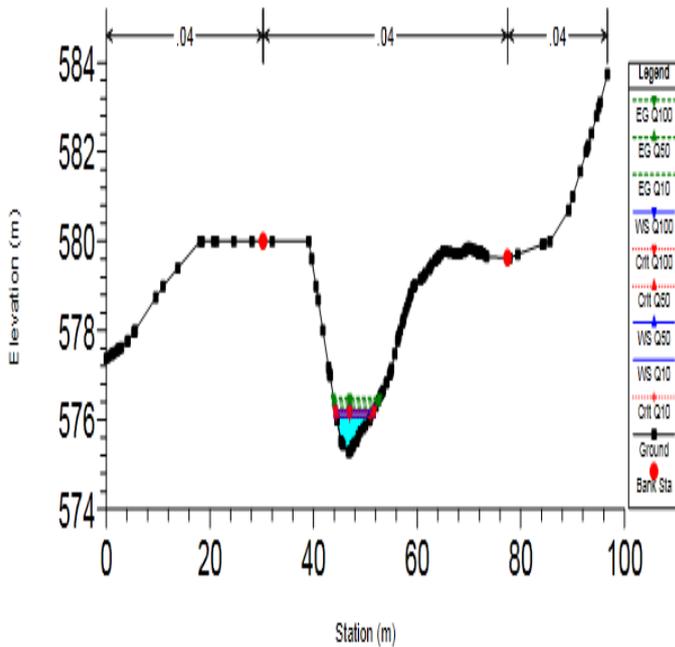
GEOMETRY3 Plan: Plan 02 03/06/2015

GEOMETRY3 Plan: Plan 02 03/06/2015

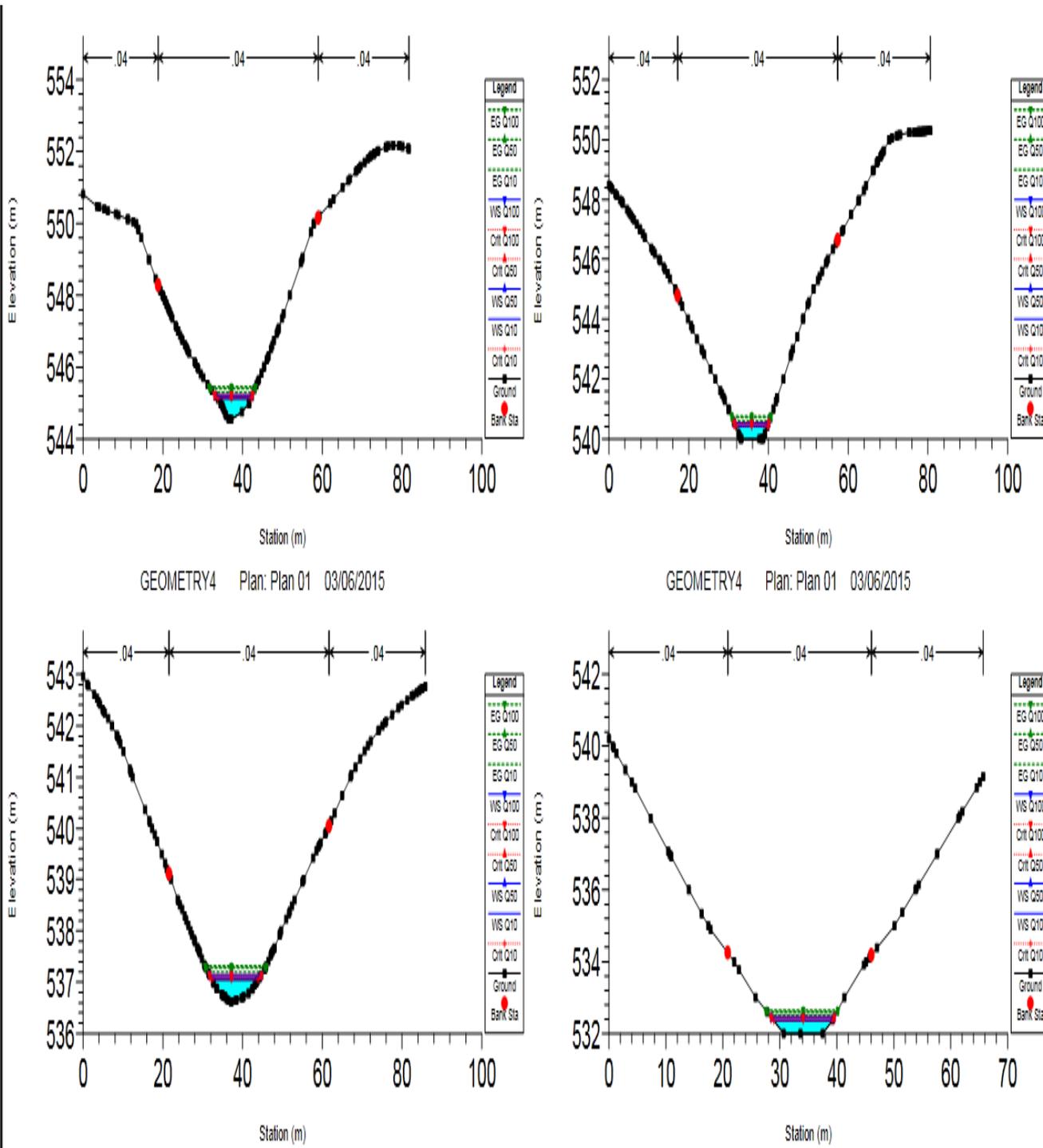


GEOMETRY3 Plan: Plan 02 03/06/2015

GEOMETRY3 Plan: Plan 02 03/06/2015



## Chaaba 4



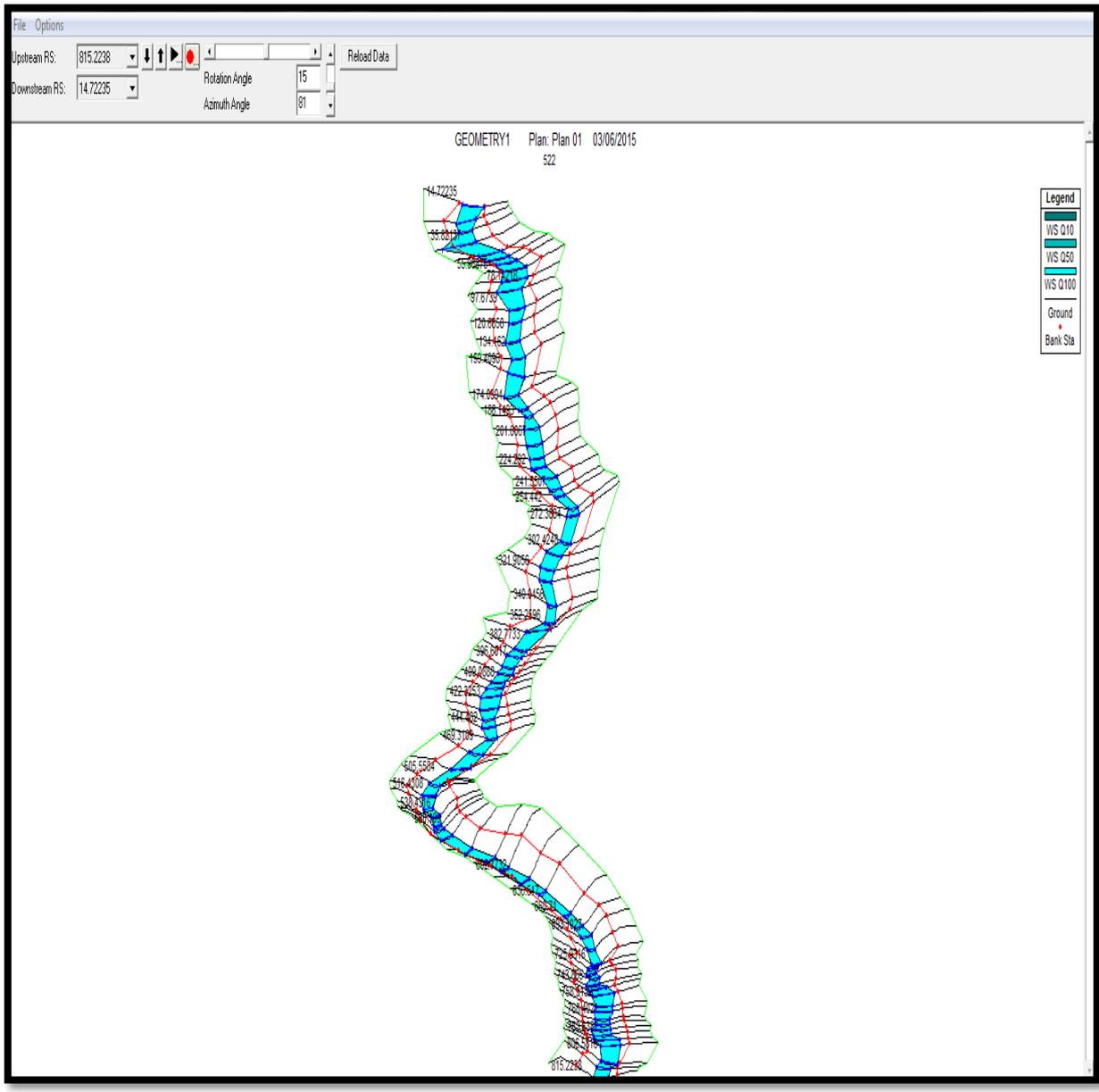


## **Annexe IV :**

### **Profil en travers d'une vue 3D des bassins versants**

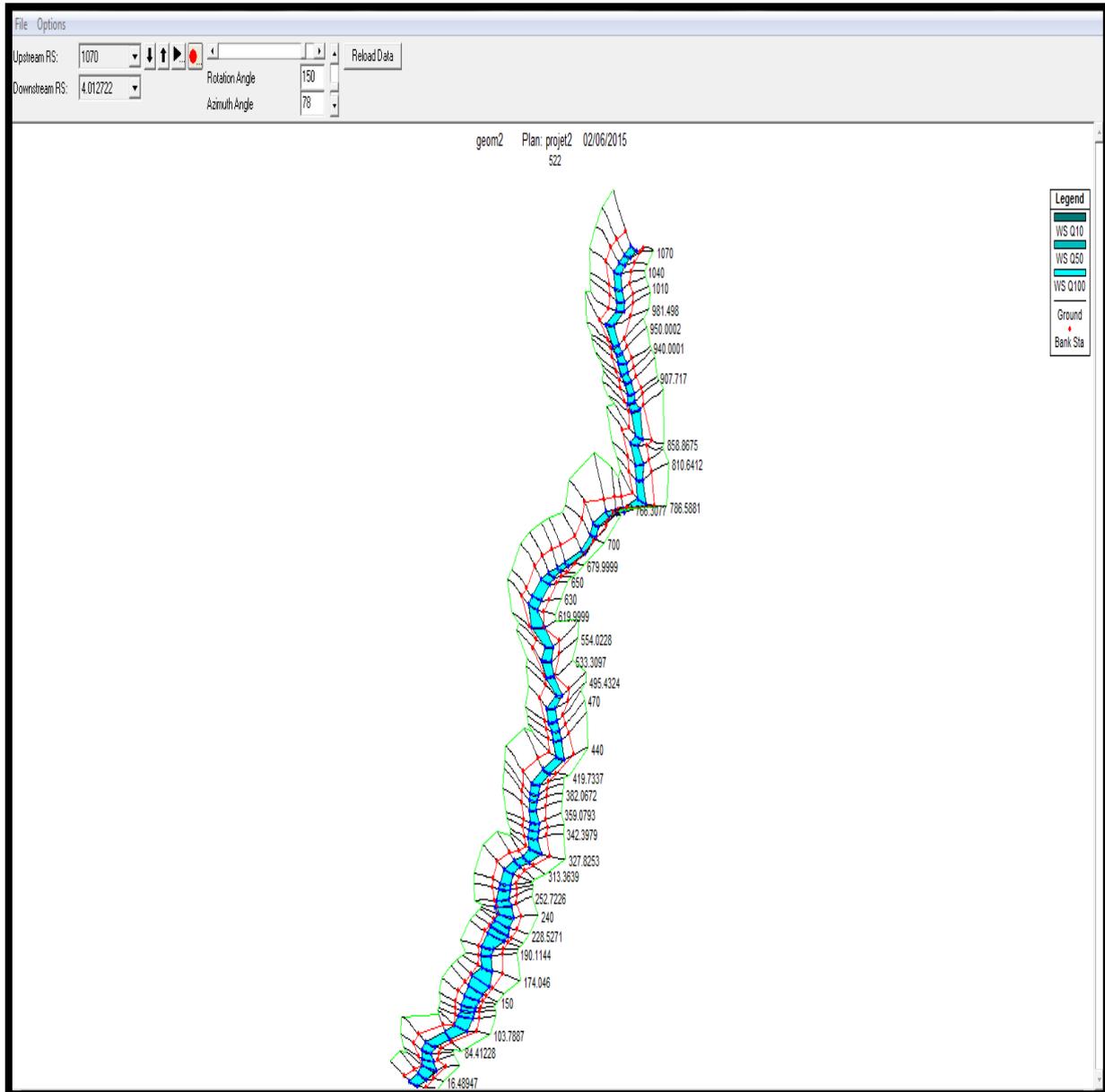


Chaaba 1 :



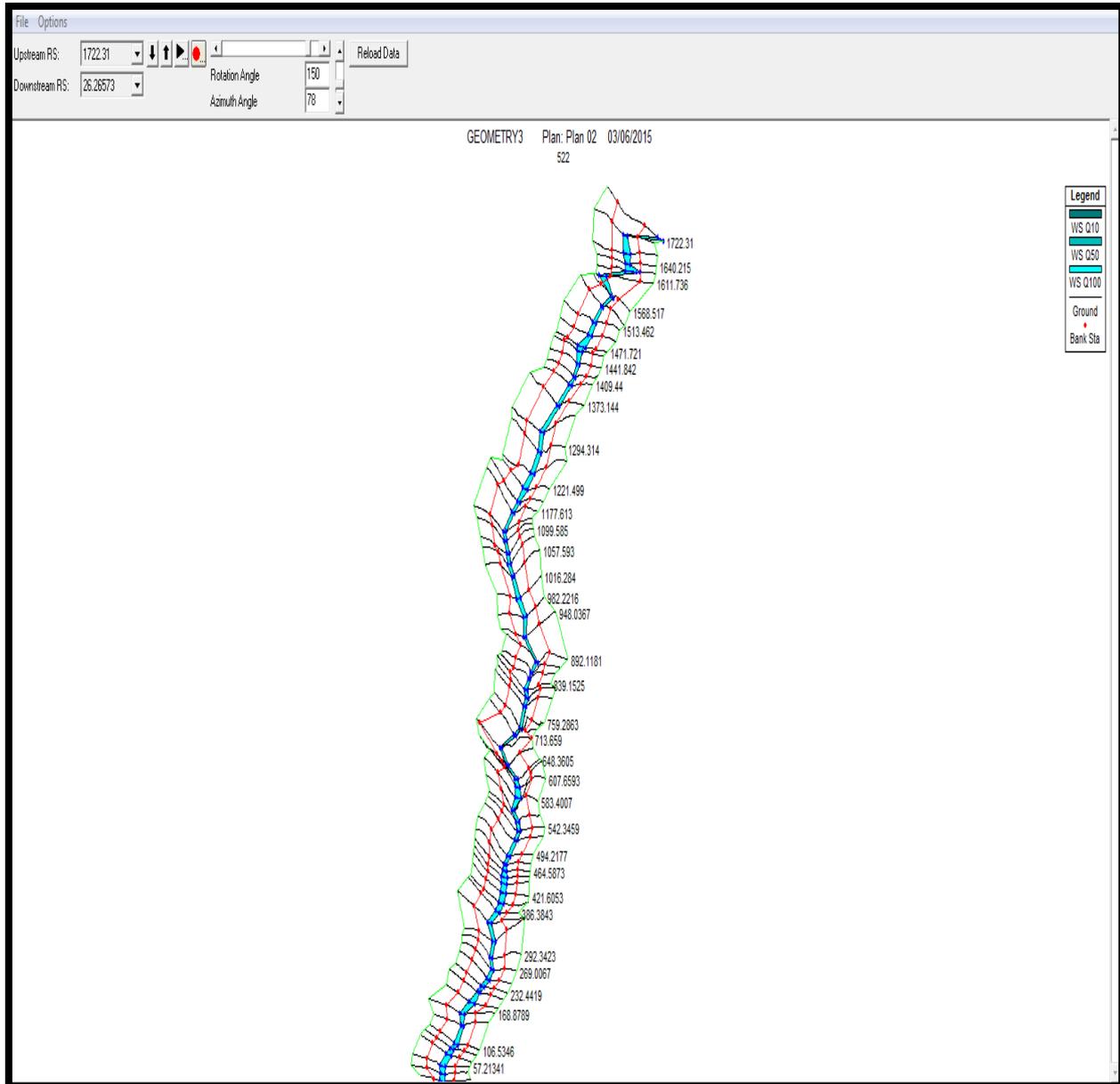


Chaaba 2 :



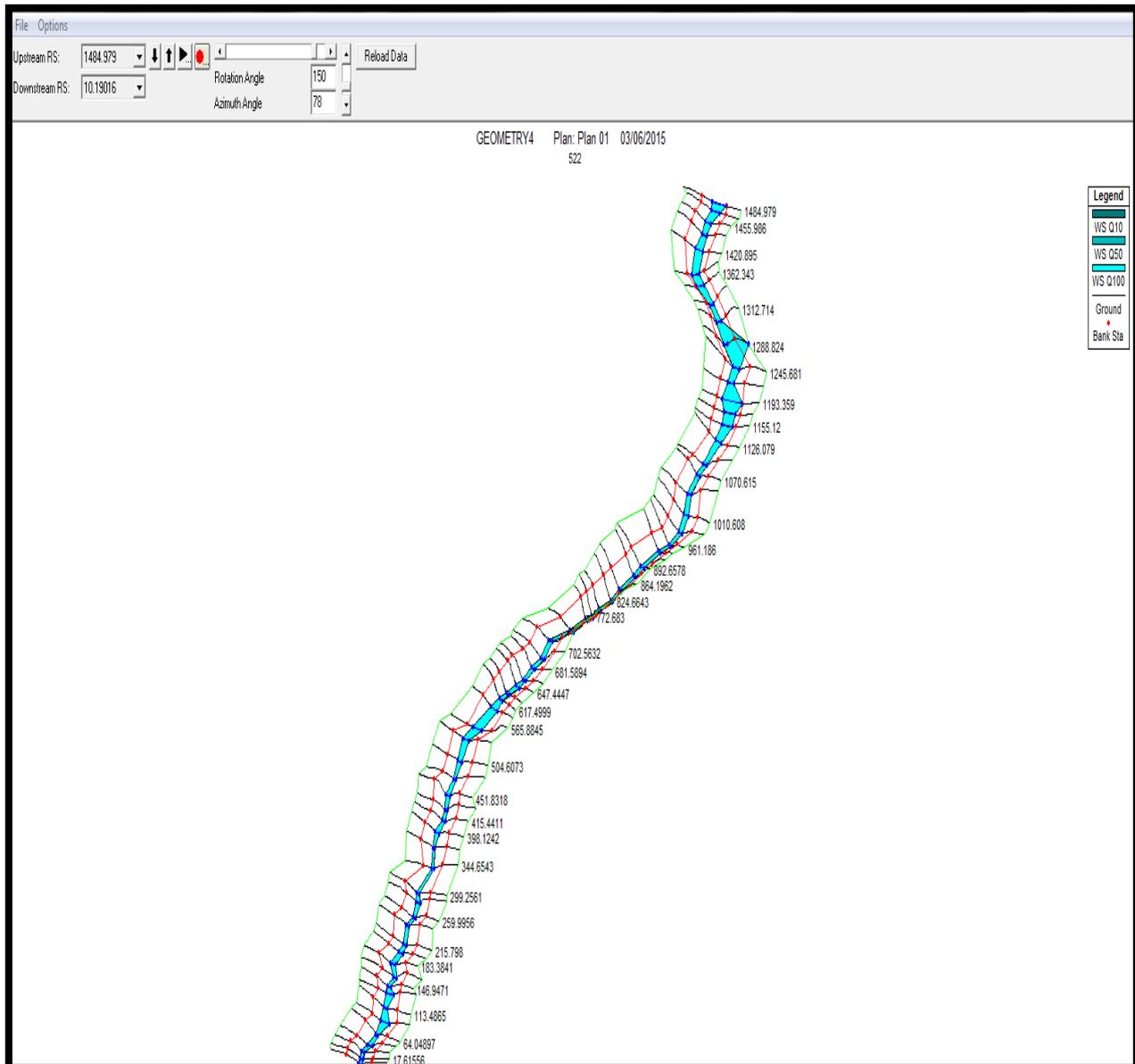


Chaaba 3 :





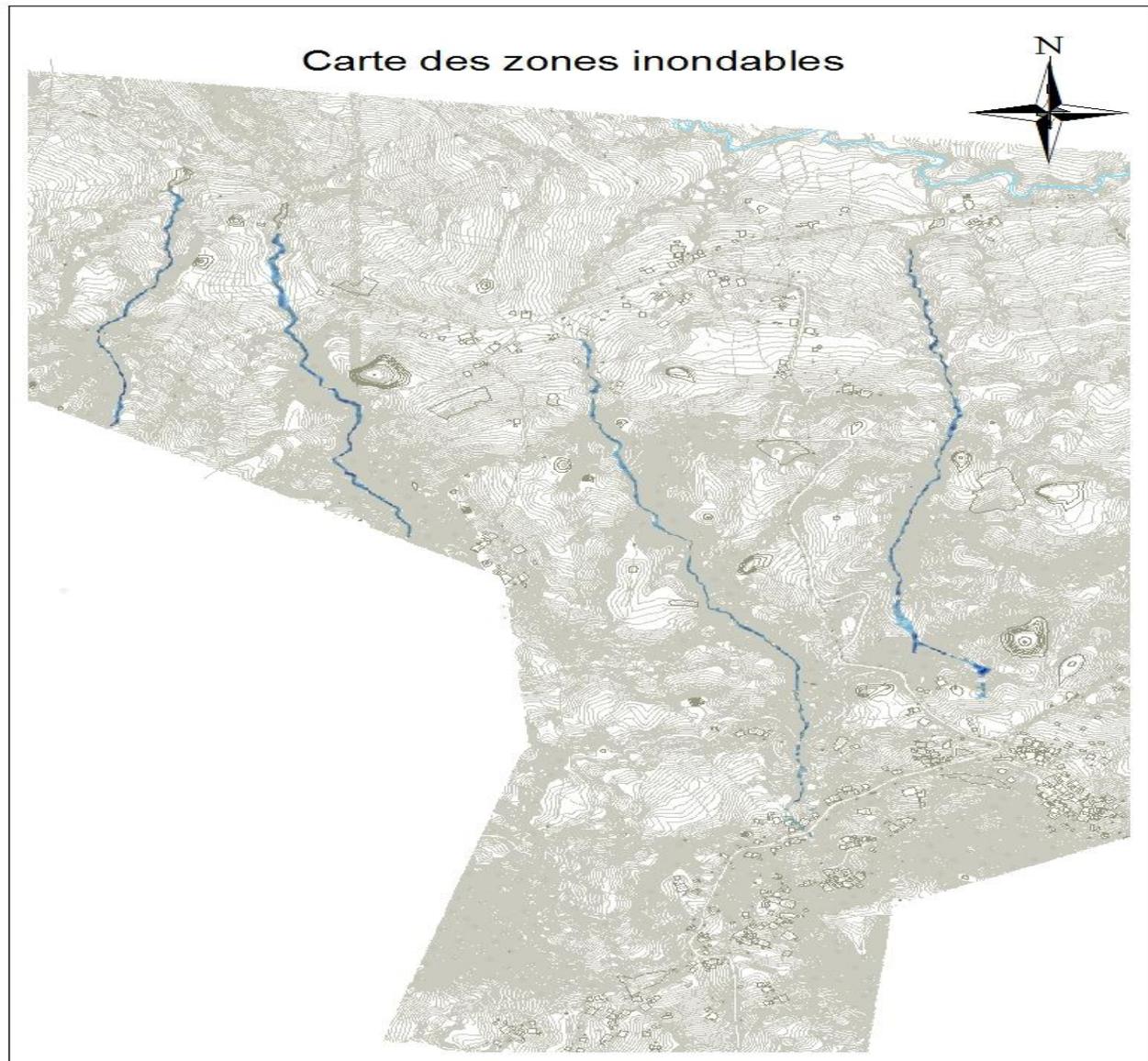
Chaaba 4 :





# Annexe V :

## Délimitation des sous bassins





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Badr-Eddine KIFANE et Oussama EL-FADLI**

**Année Universitaire : 2014/2015**

**Titre : Etude de protection contre les inondations du Centre Rghioua (Province de Taounate)**

### Résumé

L'inondation au sens d'aléa est un phénomène naturel très complexe dont l'analyse nécessite des outils performants et élaborés, tel que la modélisation qui simule numériquement les crues

Chaaba du centre Rghioua est un affluent de Sebou qui se forme près de la ville de Taounate, a un périmètre de 11.09Km, une surface de 462.46 ha, une pente moyenne de 0.11. Au niveau de ce bassin versant les précipitations sont très variables d'un mois à un autre, les variations des débits sont en relation avec celles des pluies. Dans notre étude, la modélisation hydrologique par le logiciel HEC-Ras consistait dans un premier temps, à acquérir, organiser et traiter les données d'entrée puis élaborer et calculer le modèle hydrologique et enfin évaluer et discuter les résultats.

La modélisation hydrologique et hydraulique reste un moyen efficace pour l'estimation et la protection de la zone contre les inondations.

Les résultats obtenus à partir de l'étude des caractéristiques hydrologique et hydraulique montrent que la zone n'est pas très menacée du risque d'inondations.

**Mots clés:** Inondation, SIG, Modélisation, HEC-Ras, Centre Rghioua